МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ И УТОЧНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА

Москва 1985

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ И УТОЧНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА

Утверждены директором Союздорнии
кандидатом технических наук Э.М.Добровым

Одобрены Главтранспроектом
(письмо № 3002/13/1-22 от 27.07.83)

Москва 1985

УДК 625.731.9:626.86(083.131)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ И УТОЧНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА. Союздорнии. М., 1984.

Изложены требования к материалам для устройства дренирующих слоев, работающих по принципу осушения и поглощения. Даны расчетные зависимости для определения коэффициента фильтрации материала без проведения фильтрационных испытаний.

Изложен расчет толщины дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения.

Даны расчетные зависимости для определения угла внутреннего трения песчаного грунта, учитывающие повторный характер воздействия нагрузки. Рекомендованы значения удельного сцепления и модуля упругости песчаного грунта. Изложена методика определения прочностных и деформационных характеристик песчаного грунта с учетом повторного воздействия нагрузки.

Освещены вопросы технико-экономического обоснования проектных решений. Даны примеры расчета.

Табл.4, рис.4.

© Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1984

УДК 625.731.9:626.86(083.131)

Предисловие

Устройство дренирующих слоев, работающих по принципу осушения, в ряде случаев затруднено из-за необходимости применения привозных кондиционных песков и других хорошо фильтрующих зернистых материалов (дальность возки достигает 50 км, а стоимость 1 $м^3$ песка достаточно высока - до 10 руб.). В "Методических рекомендациях по совершенствованию методов расчета дренирующих слоев и уточнению требований к материалам для их устройства" предлагается снизить объем привозных песков путем внедрения в практику строительства дречирующих слоев, работающих по принципу поглощения.

Применение некондиционных песков в дренирующих слоях требует учета морозного пучения и условий размещения воды в порах грунта в момент оттаивания, а также динамической сдвигоустойчивости этих песков.

В настоящих "Методических рекомендациях" приведена методика и предложены расчетные зависимости для определения прочностных и деформационных характеристик песка под действием транспортной нагрузки с учетом интенсивности движения автомобилей и влажности песков. Введение в расчет упомянутых динамических характеристик позволяет более надежно обеспечивать сдвигоустойчивость песка дренирующих слоев, работающих по принципам поглощения и осушения, и прочность всей дорожной конструкции.

"Методические рекомендации" разработали доктора технических наук В.Д.Казарновский (Союздорнии), М.Б.Корсунский (Ленинградский филиал Союздорнии), кандидаты технических наук В.И.Рувинский (Союздор-

нии), В.Н.Гайворонский (Ленинградский филиал Союздорнии), В.М.Смирнов (Гипродорнии). Общее редактирование выполнено В.Д.Казарновским.

Замечания и пожелания по данной работе просьба направлять по адресу: 143900, Балашиха-6 Московской обл., Союздорнии.

1. Общие положения

1.1. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для применения при проектировании и реконструкции автомобильных дорог в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов во II и III дорожно-климатических зонах.

1.2. Осушение основания дорожной одежды и подстилающих грунтов следует предусматривать на участках дорог, где земляное полотно возводится из грунтов, коэффициент фильтрации которых не отвечает требованиям, предъявляемым к материалам дренирующих слоев, работающих по принципу осушения или поглощения, т.е. мероприятия по осушению необходимо проводить в случае возведения земляного полотна из грунтов с коэффициентом фильтрации менее 0,5 м/сут.

Тип конструкции следует выбирать на основании технико-экономического сравнения вариантов, включая устройство дренирующих прослоек из синтетических нетканых материалов (СНМ) и дренирующих слоев из зернистых материалов, работающих по принципу осушения или поглощения.

1.3. Расчет дренирующих прослоек из СНМ для отвода воды атмосферных осадков, просочившейся через покрытие, а также воды, отжимаемой из грунта при его осадке после оттаивания и под действием динамической нагрузки, следует проводить согласно "Методическим рекомендациям по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов расчета и регулирования водно-теплового режима" (Союздорнии. М., 1983).

1.4. При проектировании дренирующего слоя необходимо предусматривать возможность осушения основания дорожных одежд, обеспечения сдвигоустойчивости само-

го зернистого материала и прочности всей дорожной конструкции.

1.5. Дренирующий слой, работающий по принципу осушения, следует проектировать исходя из условия, что суммарный суточный приток воды, поступающей в основание проезжей части, полностью отводится за тот же период времени. При этом необходимо предусматривать возможность кратковременного (в течение 3-6 сут) размещения воды в свободных порах дренирующего слоя из-за разных сроков оттаивания дренажной системы. Конструирование дренажных устройств и расчет дренирующих слоев, работающих по принципу осушения, нужно проводить согласно "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-72.

1.6. Дренирующий слой, работающий по принципу поглощения, следует проектировать из условия размещения в порах песчаного грунта в течение длительного времени воды, поступающей в основание проезжей части. Расчет толщины такого слоя нужно проводить согласно разд.3 настоящих "Методических рекомендаций", а величину притока воды, поступающей в дренирующий слой, устанавливать на основе "Методических рекомендаций по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983).

1.7. Дренирующий слой, работающий по принципу поглощения, выполняет также функции морозозащитного слоя. В этом случае толщину слоя назначают из условия обеспечения дренирования и морозозащиты дорожной одежды, руководствуясь положениями упомянутых в п.1.6 "Методических рекомендаций".

1.8. Расчет дорожной одежды на прочность следует проводить в соответствии с "Инструкцией" ВСН 46-72 с учетом прочностных и деформационных характеристик песчаного грунта дренирующего слоя, определяемых по новой методике в специальной установке (типа стаби-

лометра), которая позволяет достаточно полно моделировать работу песчаного грунта под воздействием транспортных нагрузок (см.приложение к настоящим "Методическим рекомендациям").

В этом случае в расчет не вводится коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунтов сдвигу под действием повторных нагрузок.

При ориентировочных расчетах можно устанавливать значения угла внутреннего трения и удельного сцепления (прочностные характеристики), а также модуля упругости (деформационная характеристика) в соответствии с разд.4 настоящих "Методических рекомендаций".

1.9. Для устройства дренирующих слоев, работающих по принципу осушения, следует применять материалы с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут.

Материал с коэффициентом фильтрации 1-2 м/сут целесообразно применять на участках, где он одновременно выполняет дренирующие и морозозащитные функции. В этих случаях дренирующий слой устраивают на всю ширину земляного полотна и в нем допускается непродолжительная частичная аккумуляция свободной воды, если обеспечивается существенный запас над ней дренирующего материала, предотвращающего возникновение "гидравлического удара".

Для устройства дренирующего слоя сравнительно небольшой толщины (до 30 см) на всю ширину земляного полотна следует применять материалы с коэффициентом фильтрации 10 м/сут и более и коэффициентом неоднородности $K_{\frac{60}{10}} \leqslant 5$, обладающие незначительным капиллярным поднятием. Для устройства дренирующего слоя только на ширину проезжей части до закромочных дрен могут быть использованы материалы с коэффициентом фильтрации 2-10 м/сут. Большее значение коэффициента фильтрации соответствует большей длине пути фильтрации, определяемой числом полос движения и видом поперечного профиля (одно- или двухскатный).

1.10. При устройстве дренирующих слоев, работающих по принципу осушения, в районах с количеством атмосферных осадков более 300 мм в год следует принимать специальные меры по предупреждению разрушения усовершенствованного покрытия в результате "гидравлического удара" на участках дорог с интенсивностью движения более 200 авт./сут с нагрузкой на ось более 60 кН (6 тс). На таких участках вода, поступающая с поверхности в основание под покрытие, должна быть отведена за пределы проезжей части в течение 1-2 ч. Для достижения этого дренирующий слой следует устраивать из прочных зернистых материалов со сравнительно узким диапазоном размеров частиц, например 5-20, 10-20 или 20-30 мм. Такие высокопористые слои следует устраивать взамен слабофильтрующих слоев основания.

1.11. При устройстве дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения, величина коэффициента фильтрации песчаного грунта должна быть такой, чтобы не происходило образования слоя воды под дорожной одеждой, а вода атмосферных осадков, поступающая через покрытие проезжей части в дренирующий слой, полностью впитывалась бы в тот же момент времени в поры этого слоя. Этим требованиям обычно удовлетворяют песчаные грунты с коэффициентом фильтрации 0,5 м/сут и более.

1.12. При оценке песчаного грунта в предполагаемом для разработки карьере должны быть отобраны как минимум 15 проб на каждые 500 м^3 песчаного грунта. По этим пробам в соответствии с п.2.3 настоящих "Методических рекомендаций" устанавливают значение коэффициента фильтрации.

1.13. При разработке вариантов дренирующих слоев, работающих по принципу осушения и поглощения, следует учитывать положительные и отрицательные стороны каждой из этих конструкций.

Дренирующие слои, работающие по принципу осуше-

ния, нужно устраивать из кондиционных песчаных грунтов или высокопроницаемой скелетной смеси (щебня или гравия) открытого типа (с незаполненными пустотами) и укладывать этот слой под дорожной одеждой на всю ее ширину с дренажными трубами для сбора и быстрого отвода воды за пределы земляного полотна. При этом необходимо обеспечить выходы дренирующего слоя на откос. Кроме того, следует устраивать противозаиливающую защиту дрен и дренирующих слоев, а также защиту выпусков труб от замерзания в них воды. Высокие требования предъявляются к качеству устройства дренажа, плотности и ровности земляного полотна, а также к содержанию дренажа в процессе эксплуатации автомобильной дороги, чтобы исключить скапливание воды в дренирующем слое.

При устройстве дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения, требуется устраивать более мощные слои из песчаного грунта и принимать в расчет на прочность дорожной одежды значения прочностных характеристик песчаного грунта с учетом более продолжительного периода его нахождения в неблагоприятном расчетном состоянии.

2. Материалы для устройства дренирующих слоев

2.1. Для устройства дренирующих слоев следует использовать зернистые каменные материалы: щебень и гравий, шлаки и пески. Для оценки качества этих материалов нужно учитывать их зерновой состав, морозо- и износостойкость, а также коэффициент фильтрации по стандартным испытаниям.

2.2. Для устройства дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, могут применяться песчаные грунты, отвечающие требованиям табл.1.

Таблица 1

Коэффициент неоднородности песка $K_{\frac{60}{10}}$	Содержание частиц мельче 0,1 мм, % не более, при устройстве двухскатной проезжей части при числе полос движения	
	две	четыре
<3	10 / 7,5	7,0 / 5,5
3-5	7,0 / 6,5	5,5 / 4,5
5-10	4,0 / 3,0	3,0 / 2,0
>10	2,0 / 1,5	1,2 / 1,0

Примечание. Над чертой приведены данные для конструкций с отводом воды закромочными трубчатыми дренами, под чертой - для конструкций с отводом воды через фильтрующий слой под обочинами.

Коэффициент неоднородности песчаного грунта нужно определять по формуле

$$K_{\frac{60}{10}} = \frac{D_{60}}{D_{10}}, \qquad (1)$$

где D_{60} и D_{10} - диаметр частиц, мм, мельче которых в песке содержится соответственно 60 и 10% массы.

Для песчаных грунтов, не удовлетворяющих требованиям табл.1, а также при числе полос движения более четырех коэффициент фильтрации песчаного грунта определяют на приборе ПКФ Союздорнии при максимальной плотности, установленной методом стандартного уплотнения.

2.3. В целях предварительной оценки пригодности песчаного грунта для устройства дренирующего слоя коэффициент фильтрации можно определить по формуле

$$K_{ф} = K_{ф.1}\left(\frac{N_1}{N}\right)^{\frac{4}{3}}, \qquad (2)$$

где $K_{ф}$ – коэффициент фильтрации данного песчаного грунта, м/сут;

$K_{ф.1}$ – коэффициент фильтрации песка-эталона, т.е. песка, в котором содержится $N_1 = 2\%$ массы частиц мельче 0,1 мм, м/сут;

N – содержание частиц мельче 0,1 мм в данном песке, % массы.

Значение $K_{ф.1}$ для групп песка, принятого за эталон по коэффициенту неоднородности, приведено в табл.2.

Таблица 2

Группа песка-эталона	Коэффициент неоднородности песка $K_{60/40}$	$K_{ф.1}$, м/сут
1	<3	40
2	3-5	20
3	5-10	10
4	>10	5

2.4. При наличии в карьере или на участке дороги, подлежащей реконструкции, песчаного грунта с постоянным коэффициентом неоднородности, но разного гранулометрического состава, рекомендуется для сокращения объема испытаний проводить расчет коэффициента фильтрации по формуле (2). Для этого на одной пробе песчаного грунта с содержанием частиц мельче 0,1 мм в количестве 2% массы определяют коэффициент фильтрации $K_{ф.1}$ на приборе ПКФ Союздорнии при максимальной плотности, установленной методом стандартного уплотнения. Далее, приняв эту пробу за эталон, можно для остальных многочисленных проб песчаного грунта данного участка дороги или из данного карьера находить коэффициент фильтрации только в зависимости от содержания в нем частиц мельче 0,1 мм.

2.5. Дренирующие слои из прочных зернистых материалов со сравнительно узким диапазоном размеров частиц, например 5–20, 10–20 или 20–30 мм, особенно эффективны не в качестве дополнительных, а взамен слабофильтрующих слоев основания.

Фактический коэффициент фильтрации подобных смесей $K_ф$ может быть приближенно определен по формуле

$$K_ф = K_{ф.1}\left(\frac{D_{15.2}}{D_{15.1}}\right)^{1,6}, \qquad (3)$$

где $K_{ф.1}$ – коэффициент фильтрации при $D_{15.1} = 5$ мм, по данным Седергрена $K_{ф.1} = 2400$ м/сут;

$D_{15.1}, D_{15.2}$ – диаметры отверстий сит, через которые проходит 15% соответственно эталонного и фактического дренирующего материала.

Формула (3) действительна для смесей, удовлетворяющих следующим условиям однородности:

$$\frac{D_{85}}{D_{15}} < 4; \qquad (4)$$

$$D_2 \geq 2{,}5, \qquad (5)$$

где D_{85} – диаметр отверстия сита, через которое проходит 85% дренирующего материала, мм;

D_2 – максимальный размер частиц мелкой фракции, мм, составляющей 2% массы.

Фактический коэффициент фильтрации высокопористого дренирующего материала следует проверять в процессе строительства на контрольных образцах, отбираемых после того, как материал уложен и уплотнен.

3. Расчет дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения.

3.1. Для определения толщины дренирующего слоя следует сопоставить суммарный объем воды, поступаю-

щей в этот слой в расчетный период (весной), с объемом воды, который может разместиться в свободных порах упомянутого слоя без снижения прочности дорожной одежды. Это условие обеспечивается при соблюдении неравенства

$$h \geqslant h_{зап} + h_{нас} , \qquad (6)$$

где h – толщина дренирующего слоя песчаного грунта, м;

$h_{нас}$ – толщина слоя, полностью насыщенного водой, м;

$h_{зап}$ – запасная толщина слоя с влажностью от оптимальной до полной капиллярной влагоемкости, м.

3.2. Толщину слоя $h_{зап}$ следует устанавливать при условии недопущения сдвига в песке под действием транспортной нагрузки. Минимальное значение $h_{зап}$ зависит от капиллярных свойств материала: для крупных песков оно составляет 0,1–0,12 м, для песков средней крупности – 0,14–0,15 м и для мелких песков 0,18–0,2м.

3.3. Количество воды, которое может поступить весной расчетного года в дренирующий слой, устраиваемый на всю ширину земляного полотна, следует определять по уравнению

$$Q = \left[\left(q^{III}_{атм\,(пр.ч)} + q_{отж\,(пр.ч)} + q_{отж\,(р)} \right) B + \right.$$
$$\left. + \left(q^{III}_{атм\,(об)} + q_{отж\,(об)} \right) \cdot 2a - H^{III}_{исп\,(отк)} \cdot 2S \right] l , \qquad (7)$$

где Q – количество воды, поступающей в дренирующий слой в весенний период, м³ на 1 м дороги;

$q^{III}_{атм\,(пр.ч)}$ – приток воды в дренирующий слой от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность проезжей части в весенний период, м³ на 1 м² проезжей части;

$q^{III}_{атм\,(об)}$ – приток воды в дренирующий слой от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обочин, и от стока воды с проезжей части на обочину в весенний период, м^3 на 1 м^2 обочины;

$q_{отж\,(пр.ч)}$ – объем воды, поступающей в дренирующий слой из лежащих под ним в пределах проезжей части грунтов при их осадке при оттаивании[x], м^3 на 1 м^2 проезжей части;

$q_{отж\,(об)}$ – объем воды, поступающей в дренирующий слой из лежащих под ним в пределах обочин грунтов при их осадке[x] при оттаивании, м^3 на 1 м^2 обочин;

$q_{отж\,(р)}$ – объем воды, поступающей в дренирующий слой под действием динамической нагрузки, м^3 на 1 м^2 проезжей части;

$H^{III}_{исп\,(отк)}$ – испарение воды из дренирующего слоя через откосы земляного полотна в весенний период, м^3 на 1 м^2 откоса;

S – протяженность дренирующего слоя по высоте откоса земляного полотна, м;

B, a – ширина соответственно проезжей части и обочины, м;

ℓ – длина участка дороги, м, ℓ = 1 м.

Величины притока и оттока (испарения) воды, входящие в формулу (7), следует вычислять по зависимостям, приведенным в "Методических рекомендациях по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" и в "Методических рекомендациях по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов расчета и регулирования водно-теплового режима".

3.4. Количество воды, которое может разместиться в свободных порах дренирующего слоя при устройстве его на всю ширину земляного полотна, $Q_{доп}$ (м^3 на 1 м дороги) следует устанавливать по выражению

x) Осадка грунта происходит в том случае, когда имело место морозное пучение.

$$Q_{доп} = n\left[F\ (1-\varphi_{зим}) - (B+2a)\,h_{зап}\,\varphi_к\right]l, \qquad (8)$$

где n – пористость песка в уплотненном состоянии, доли единицы;

F – площадь поперечного сечения дренирующего слоя, м^2;

$\varphi_{зим}$ – коэффициент заполнения водой пор дренирующего слоя перед началом расчетного периода;

$\varphi_к$ – коэффициент заполнения пор капиллярной водой в запасной части дренирующего слоя.

Величины $\varphi_{зим}$ и $\varphi_к$ следует устанавливать согласно "Методическим рекомендациям" (см.п.3.3).

4. Определение динамических значений прочностных и деформационных характеристик песка

4.1. Прочностные и деформационные характеристики песка следует устанавливать в зависимости от суммарного количества проходов расчетных автомобилей по одной полосе проезжей части весной, летом и осенью каждого года в течение всего периода между средними ремонтами и от расчетного состояния песчаных грунтов дренирующего слоя в эти периоды. Влияние кратковременных повторных нагрузок на прочностные и деформационные характеристики песчаного грунта зимой, когда грунт находится в мерзлом состоянии, можно не учитывать, так как оно незначительно.

4.2. Прочностные характеристики песчаного грунта следует устанавливать для двух частей дренирующего слоя: нижней, которая может находиться в водонасыщенном состоянии, и верхней (запасной), влажность которой не превышает полной капиллярной влагоемкости.

4.3. Прочностные и деформационные характеристики песчаного грунта следует устанавливать при требуемой

СНиП II-Д.5-72 степени его уплотнения. Влажность песчаного грунта дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, следует прогнозировать согласно "Методическим рекомендациям по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов" (Союздорнии. М., 1974), а по принципу поглощения - в соответствии с "Методическими рекомендациями по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов расчета и регулирования водно-теплового режима" (Союздорнии. М., 1983).

4.4. При ориентировочных расчетах для дренирующего слоя из песчаного грунта, работающего по принципу осушения, можно принимать следующие значения влажности: в нижней части - полная влагоемкость весной (20-15 сут), оптимальная летом (180-210 сут), капиллярная влагоемкость осенью (30-25 сут) в условиях II и III дорожно-климатических зон; в верхней части (при минимальной его толщине) - капиллярная влагоемкость весной (20-15 сут) и оптимальная влажность в течение 210-235 сут для указанных зон.

Для дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения, влажность равна в нижней части - полной влагоемкости весной (60-50 сут), оптимальной влажности летом (140-170 сут), капиллярной влагоемкости осенью (35-30 сут) в условиях II и III дорожно-климатических зон; в верхней части (при минимальной его толщине) - капиллярной влагоемкости весной (60-50сут), оптимальной влажности - летом (140-170 сут), капиллярной влагоемкости осенью (35-30 сут) для указанных зон.

4.5. Для установления прочностных и деформационных характеристик песчаного грунта необходимо испытывать образцы этого песка в приборе трехосного сжатия при статическом режиме нагружения и в условиях

повторного воздействия нагрузки (см.прил. к настоящим "Методическим рекомендациям"). По данным этих испытаний устанавливают расчетные значения угла внутреннего трения, удельного сцепления и модуля упругости при количестве приложений нагрузки, равном ожидаемому суммарному количеству проходов автомобилей.

4.6. При ориентировочной оценке сдвигоустойчивости материала дренирующего слоя можно устанавливать значение угла внутреннего трения песчаного грунта по формуле

$$\varphi_N = \varphi(1-\alpha_\varphi \lg N), \qquad (9)$$

где φ_N - расчетная величина угла внутреннего трения песчаного грунта в условиях динамического воздействия нагрузки от транспорта;

φ - статическая расчетная величина угла внутреннего трения песчаного грунта (табл. 3);

α_φ - интенсивность снижения угла внутреннего трения песчаного грунта;

N - суммарное количество проходов автомобилей за расчетный период.

Величина α_φ зависит от влажности и коэффициента фильтрации K_Φ (м/сут) грунта и определяется по формулам:

для песчаных грунтов при их полной влагоемкости

$$\alpha_\varphi^{п.в} = 0{,}0343 \cdot K_\Phi^{-0{,}11}; \qquad (10)$$

для песчаных грунтов при оптимальной влажности

$$\alpha_\varphi^{опт} = 0{,}018. \qquad (11)$$

Значения α_φ при капиллярной влагоемкости грунта вычисляют как среднеарифметическое между соответствующими величинами α_φ при оптимальной влажности грунта и его полной влагоемкости.

Таблица 3

Вид песка	Содержание пылеватых и глинистых частиц, %	Коэффициент фильтрации, м/сут	φ, град	C, МПа	E, МПа	φ_N, град	C_N, МПа	E_N, МПа
Крупный	0	11,6	35	0,005	125	32 / 30	0,004 / 0,003	140
	5	2,3	35	0,006	125	32 / 29	0,005 / 0,003	140
Средней крупности	0	8,9	33	0,004	110	30 / 27	0,003 / 0,002	130
	5	1,4	33	0,005	110	30 / 27	0,004 / 0,002	130
Мелкий	0	6,4	32	0,003	100	29 / 26	0,003 / 0,002	120
	5	0,8	32	0,005 / 0,004	100	29 / 25	0,004 / 0,003	120
	8	0,25	32 / 31	0,007 / 0,006	100	29 / 24	0,005 / 0,002	120

Примечания: 1. Над чертой приведены значения характеристик грунта при оптимальной влажности, под чертой – при полной влагоемкости.

2. Значения характеристик грунта при капиллярной влагоемкости вычисляют как среднеарифметическое между соответствующими величинами при оптимальной влажности и полной влагоемкости.

3. Значения динамических характеристик соответствуют 100 тыс. приложений нагрузки.

Суммарное количество проходов автомобилей N определяют по формуле

$$N = N_{пр}\, t\, T_{с.р}\,, \qquad (12)$$

где $N_{пр}$ – перспективная интенсивность движения расчетных автомобилей на проектируемой автомобильной дороге, авт./сут;

t – продолжительность расчетного периода влияния нагрузки от транспорта весной, летом и осенью, сут (табл.4);

$T_{с.р}$ – срок службы автомобильной дороги между средними ремонтами, годы.

Величину φ_N по формуле (9) определяют отдельно для каждого периода влияния нагрузки от транспорта. В расчет, как правило, вводят наименьшее значение φ_N.

Таблица 4

Принцип работы дренирующего слоя	Продолжительность расчетного периода, сут		
	$t_б$	$t_л$	$t_{ос}$
Осушение	20 / 15	180 / 210	30 / 25
Поглощение	60 / 50	140 / 170	35 / 30

Примечание. Над чертой приведены данные для II дорожно-климатической зоны, под чертой – для III.

4.7. При ориентировочной оценке сдвигоустойчивости материала дренирующего слоя в расчет можно включить значения удельного сцепления по табл.3.

5. Технико-экономическое обоснование проектных решений

5.1. Проектные решения следует обосновывать путем сравнения вариантов, равноценных как по морозоустойчивости, так и по прочности дорожной одежды.

Сумму приведенных затрат по каждому варианту $\bar{П}$ за срок сравнения в общем случае определяют по формуле

$$\bar{П}=\bar{С}+\bar{С}_к+\bar{С}_с+\bar{С}_А+\bar{С}_у-(\bar{С}_о-\bar{С}_{оА})+\bar{С}_т+\bar{С}_а, \qquad (13)$$

где $\bar{С}$ – приведенные затраты на строительство 1 км дороги;

$\bar{С}_к$, $\bar{С}_с$ – приведенные затраты соответственно на капитальные и средние ремонты конструкций за срок сравнения вариантов;

$\bar{С}_А$ – приведенные затраты на первичное приобретение подвижного состава;

$\bar{С}_у$ – приведенные затраты, обусловленные удорожанием перевозок в период капитального ремонта;

$\bar{С}_о$ – приведенная остаточная стоимость земляного полотна и дорожной одежды;

$\bar{С}_{оА}$ – приведенная остаточная стоимость подвижного состава;

$\bar{С}_т$ – сумма приведенных ежегодных затрат на содержание и текущий ремонт 1 км дороги;

$\bar{С}_а$ – приведенные транспортные расходы по перевозке пассажиров и грузов.

Определяемые по формуле (13) затраты представляют собой отнесенную к 1 км дороги сумму первоначальных и текущих затрат, приведенных к сопоставимому виду в соответствии с нормативом для приведения разновременных затрат $E_{н.п} = 0,08$. Этот норматив используют при определении коэффициента приведения $β$ по формуле

$$B = \frac{1}{(1+E_{нп})^t}, \qquad (14)$$

где t – период от базисного года до года, в котором осуществляются затраты (базисный – это год окончания строительства).

Срок сравнения вариантов t_c (лет) зависит от типа покрытия и капитальности конструкции. Для одежд с капитальными покрытиями t_c =20, а для одежд с усовершенствованными покрытиями t_c = 15.

Составляющие формулы (13) и параметры, от которых они зависят, определяются по известным формулам[x)], учитывающим эксплуатационные требования к дороге, тип покрытия, коэффициенты прочности и надежности конструкции, величины межремонтных периодов, влияние состояния поверхности покрытия на скорость движения автомобилей и себестоимость перевозок, а также фактор времени.

5.2. Экономический эффект от учета динамических прочностных характеристик песчаных грунтов при проектировании дорожных одежд может быть достигнут в результате проведения мероприятий по повышению прочности дорожной конструкции и тем самым увеличения срока службы дорожной одежды.

Указанный эффект заключается в сокращении приведенных затрат, которые согласно ВСН 21-75 рассчитывают по формуле

$$P_{пр} = c + E_н K, \qquad (15)$$

где c – показатель текущих затрат в расчете на определенный объем работ;

---

x) Содержание и ремонт автомобильных дорог. / Под ред. А.П.Алексеева. – М.: Транспорт, 1974.

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_н = 0{,}12$;

K – капитальные вложения на определенный объем работ.

В том случае, если уточненные прочностные характеристики грунта φ_N и C_N не соответствуют их проектным значениям $\varphi^{пред}$ и $C^{пред}$, необходимо проверить, удовлетворяется ли условие прочности песка подстилающего слоя исходя из новых значений φ_N и C_N.

Если условие прочности не удовлетворяется, то дорожную одежду следует усилить за счет вышележащих слоев и провести повторную проверку по условию сдвига.

Использование прочностных характеристик $\varphi^{пред}, C^{пред}$ при расчете дорожной одежды фактически приводит к снижению прочности дорожной конструкции по сравнению с требуемой по условию сдвига в песке подстилающего слоя; реальный срок службы дорожной одежды будет меньше нормативного.

Определение срока службы T_i дорожной одежды согласно "Методическим указаниям по оценке прочности и расчету усиления нежестких дорожных одежд" (М.: Транспорт, 1979) в этом случае производят по формуле

$$T_i = \frac{1}{\lg q} \lg \left[\frac{N_{пр.i}(q-1)}{\gamma N_1} + 1 \right], \qquad (16)$$

где q – показатель роста интенсивности движения на дороге, $q = 1{,}1$;

$N_{пр.i}$ – интенсивность движения, приведенная к расчетной нагрузке;

N_1 – интенсивность движения на первый год работы;

γ – коэффициент; для усовершенствованного капитального типа покрытий $\gamma = 0{,}12$, для усовершенствованного облегченного $\gamma = 0{,}148$ и для переходного типа покрытий $\gamma = 0{,}171$.

Приведенная интенсивность движения $N_{пр.i}$ определяется по соответствующей номограмме $N_{пр} = f(E_{общ})$

ВСН 46-72, исходя из модуля упругости дорожной конструкции, запроектированной с использованием $\varphi^{пред}$ и $C^{пред}$.

Приведенная интенсивность движения на первый год работы определяется по формуле

$$N_1 = \frac{\bar{N}_{пр.i}}{q^{T-1}} , \qquad (17)$$

где $\bar{N}_{пр.i}$ – приведенная интенсивность движения в зависимости от модуля упругости дорожной конструкции, запроектированной с использованием φ_N и C_N ,

T – нормативный срок службы дорожной одежды, годы, для дорог с покрытием капитального типа T =15, с усовершенствованным облегченным T =10, с переходным T =8.

Как указывалось выше, приведенные затраты рассчитывают по формуле (15). При этом текущие затраты C будут складываться из затрат на средние, текущие ремонты и стоимости содержания дорожной одежды :

$$C = C_{с.р} + C_{т.р,с} , \qquad (18)$$

где $C_{с.р}$ – стоимость среднего ремонта 1 км дорожной одежды;

$C_{т.р,с}$ – стоимость текущего ремонта и содержания 1 км дорожной одежды.

Стоимость ремонта и содержания рассчитываем по формуле

$$C = \sum_{1}^{t=T} \frac{\bar{c}\, S}{(1+E_{н.п})^T} , \qquad (19)$$

где $\bar{c}$ – стоимость ремонта 1 м^2 дорожной одежды;

S – площадь поверхности 1 км дорожной одежды;

$E_{н.п}$ – нормативный коэффициент, $E_{н.п}$ = 0,08;

T – год проведения ремонта.

Капитальные вложения на 1 км дороги определяются по следующей формуле:

$$K=\left[K_0+\frac{K_{к.р}}{(1+E_{н.п})^T}\right]S \quad , \qquad (20)$$

где K_0 – стоимость строительства 1 м^2 дорожной одежды;

$K_{к.р}$ – стоимость капитального ремонта 1 м^2 дорожной одежды;

T – год проведения капитального ремонта.

6. Примеры расчета

Пример 1. Определить толщину дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения.

Исходные данные. Дорога II категории проложена на территории Московской обл. на участке с обеспеченным поверхностным стоком при глубоком залегании грунтовых вод. Высота насыпи 1,5 м, заложение откосов 1:1,5. Покрытие проезжей части – асфальтобетонное; расстояние от верха покрытия до дренирующего слоя – 0,5 м; обочины укреплены песчано-гравийной смесью; грунт земляного полотна – суглинок легкий пылеватый. Дренирующий слой устраивается на всю ширину земляного полотна. Песок мелкий с оптимальной влажностью 11%, максимальной плотностью 1660 кг/м^3 по методу стандартного уплотнения; пористость в уплотненном состоянии 0,38; полная влагоемкость 22,8%; капиллярная влагоемкость – 18,8%; влажность перед началом весеннего периода равна оптимальной. Приток воды в дренирующий слой от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность прсезжей части в весенний период, – 5 л/м^2, на поверхность обочин и от стока воды с проезжей части на обочину – 12 л/м^2.Объем воды, поступающей в дренирующий слой из нижележащих грунтов при их осадке после оттаивания-13л/м^2,

под действием динамической нагрузки - 14 л/м^2. Испарение воды из дренирующего слоя через откосы земляного полотна - 50 л/м^2.

Задаемся толщиной дренирующего слоя 0,33 м. При этом площадь поперечного сечения песчаного слоя в пределах всей ширины земляного полотна $F = 5{,}61$ м^2. Коэффициент заполнения водой пор дренирующего слоя перед началом весеннего периода $\varphi_{зим} = 0{,}11 : 0{,}228 = 0{,}48$. Коэффициент заполнения пор капиллярной водой в запасной части дренирующего слоя $\varphi_к = (0{,}188-0{,}11):(0{,}228-0{,}11) = 0{,}66$.

Тогда количество воды, которое может разместиться в свободных порах дренирующего слоя, рассчитываем по формуле (8):

$$Q_{доп} = 0{,}38\left[5{,}61\,(1-0{,}48)-(7{,}5+2\cdot 3{,}75)\cdot 0{,}2\cdot 0{,}66\right]\cdot 1 = 0{,}36 \text{ м}^3.$$

Количество воды, которое может поступить весной расчетного года в дренирующий слой, определяем по уравнению (7):

$$Q = \left[(0{,}005+0{,}013+0{,}014)\cdot 7{,}5+(0{,}012+0{,}013)\cdot 2\cdot 3{,}75-0{,}052\cdot 2\cdot 0{,}59\right]\cdot 1 = 0{,}36 \text{ м}^3.$$

Расчеты показали, что $Q = Q_{доп}$, следовательно, толщина дренирующего слоя задана правильно и составляет 0,33 м.

Пример 2. Определить расчетную величину угла внутреннего трения песчаного грунта в верхней части дренирующего слоя, работающего по принципу поглощения в условиях динамического воздействия нагрузки.

Исходные данные. Дорога проложена на территории II дорожно-климатической зоны. Дорожная одежда нежесткого типа. Интенсивность движения расчетных автомобилей по одной полосе проезжей части - 1000 авт./сут. Продолжительность периода между средними ремонтами три года. Дренирующий слой из мелкого песка с содержанием пылеватых и глинистых частиц 8% и коэффициентом фильтрации 0,25 м/сут.

По табл.3 имеем:

$\varphi = 31,5^{\circ}$ при влажности, равной капиллярной влагоемкости;

$\varphi = 32^{\circ}$ при влажности, равной оптимальной.

Из табл.4 $t_{б} = 60$ сут; $t_{л} = 140$ сут; $t_{ос} = 35$ сут.

По формуле (12) имеем:

$N_{б} = 60 \cdot 1000 \cdot 3 = 180$ тыс.авт.;

$N_{л} = 140 \cdot 1000 \cdot 3 = 420$ тыс.авт.;

$N_{ос} = 35 \cdot 1000 \cdot 3 = 105$ тыс.авт.

По формуле (10) при интенсивности снижения угла внутреннего трения грунта при полной его влагоемкости

$$\alpha_{\varphi}^{п.в} = 0,0343 \cdot 0,25^{-0,11} = 0,04;$$

при оптимальной влажности по формуле (11)

$$\alpha_{\varphi}^{опт} = 0,018;$$

при влажности, равной его капиллярной влагоемкости,

$$\alpha_{\varphi}^{к.в} = \frac{\alpha_{\varphi}^{п.в} + \alpha_{\varphi}^{опт}}{2} = 0,029.$$

Определяем величины φ_{N} для различных расчетных состояний грунта по формуле (9):

$$\varphi_{N(б.ос)} = 31,5 \left[1 - 0,029 \lg (180000 + 105000)\right] = 26,5^{\circ};$$

$$\varphi_{N(л)} = 32 \ (1 - 0,018 \lg 420000) = 28,8^{\circ};$$

$$\varphi_{N} = 26,5^{\circ}.$$

Пример 3. Определить снижение стоимости строительства при замене дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, на дренирующий слой, работающий по принципу поглощения.

Исходные данные. Дренирующие слои устраивают на дороге II категории, проходящей в насыпи на участках местности с обеспеченным поверхностным стоком и глубоким залеганием грунтовых вод во II дорожно-климатической зоне (см.пример 1). Толщина дренирующего слоя, работающего по принципу осушения, 0,2м,

по принципу поглощения - 0,33 м. Первая конструкция устраивается из привозных кондиционных песков стоимостью 10 руб. за 1 м^3, вторая - из местных песков стоимостью 2 руб. за 1 м^3.

При этих условиях стоимость строительства снижается на 22 тыс.руб. на 1 км дороги.

Пример 4. Определить технико-экономический эффект от применения динамических прочностных характеристик песка при проектировании дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием капитального типа на участке дороги II категории во II дорожно-климатической зоне.

Местность по условиям увлажнения относится ко 2-му типу; грунт земляного полотна - суглинок пылеватый. Интенсивность движения, приведенная к расчетной нагрузке, 320 авт./сут.

В соответствии с проектом была принята конструкция дорожной одежды, приведенная в табл.5.

Таблица 5

Номер слоя	Материал	E, МПа	$\varphi_{пред}$, град	$C_{пред}$, МПа	h, см	$\frac{h}{D}$	Общий модуль упругости на поверхности слоев $E_{общ}$, МПа
1	Асфальтобетон (верхний слой)	1500	-	-	5	0,15	200
2	Асфальтобетон (нижний слой)	1000	-	-	5	0,15	170
3	Щебень гранитный	450	-	-	20	0,61	140
4	Песок мелкий	100	38	0,008	50	1,51	65
5	Суглинок пылеватый	24	13	0,010	-	-	-

В соответствии с ВСН 46-72 принятая конструкция была рассчитана по условию сдвига в подстилающем грунте и песке подстилающего слоя.

В подстилающем грунте

$$E_{ср} = \frac{1500 \cdot 5 + 1000 \cdot 5 + 450 \cdot 20 \cdot 1000 \cdot 50}{80} = \frac{26500}{80} = 331 \text{ МПа};$$

$$\frac{E_{ср}}{E_{гр}} = \frac{331}{24} = 13{,}8; \quad \frac{h}{D} = \frac{80}{33} = 2{,}42; \quad \frac{\tau_{a.м}}{P} = 0{,}0094; \quad \tau_{a.м} =$$

$= 0{,}0094 \cdot 0{,}6 = 0{,}00564$ МПа; $\tau_{a.б} = 0{,}0007$ МПа; $\tau_a = \tau_{a.м} + \tau_{a.б} =$ $= 0{,}00634$ МПа; $\tau_{a.доп} = 0{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}01 = 0{,}0064$; $\tau_a < \tau_{a.доп}$;

в песке подстилающего слоя

$$E_{ср} = \frac{1500 \cdot 5 + 1000 \cdot 5 + 450 \cdot 20}{30} = \frac{21500}{30} = 717 \text{ МПа};$$

$$E^{III}_{общ} = 65 \text{ МПа}; \quad \frac{E_{ср}}{E^{III}_{общ}} = \frac{717}{65} = 11; \quad \frac{h}{D} = \frac{30}{33} = 0{,}91; \quad \frac{\tau_{a.м}}{P} =$$

$= 0{,}0065$; $\tau_{a.м} = 0{,}0065 \cdot 0{,}6 = 0{,}0039$ МПа; $\tau_{a.б} = 0{,}002$ МПа; $\tau_a = \tau_{a.м} + \tau_{a.б} = 0{,}0019$ МПа; $\tau_{a.доп} = 0{,}45 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}008 =$ $= 0{,}00288$ МПа; $\tau_a < \tau_{a.доп}$.

Расчет показывает, что условие сдвига обеспечивается в обоих случаях.

Проверяем, обеспечивается ли условие сдвига в песке подстилающего слоя при уточненных значениях его прочностных характеристик. Для мелкого песка:

$\varphi_N = 29^\circ$, $C_N = 0{,}003$ МПа; $\frac{E_{ср}}{E^{III}_{общ}} = 11$; $\frac{h}{D} = 0{,}91$;

$\frac{\tau_{a.м}}{P} = 0{,}0086$; $\tau_{a.м} = 0{,}0086 \cdot 0{,}6 = 0{,}0052$ МПа; $\tau_{a.б} = 0{,}0014$ МПа;

$\tau_a = \tau_{a.м} + \tau_{a.б} = 0{,}0038$ МПа.

В связи с тем, что прочностные характеристики песка φ_N и C_N определены в условиях воздействия повторных нагрузок, коэффициент $K_1 = 0{,}6$, учитывающий снижение сопротивления грунта сдвигу под воздей-

ствием повторных нагрузок, в расчет не принимается. Тогда

$$\tau_{a.доп}=0,75\cdot0,8\cdot0,003 = 0,0018 \text{ МПа};\ \tau_a > \tau_{a.доп}.$$

Таким образом, условие сдвига не обеспечивается.

Для обеспечения условия сдвига усиливаем конструкцию дорожной одежды за счет увеличения толщины слоя щебня на 10 см. Проверяем, обеспечивается ли в этом случае условие сдвига для песка:

$$E_{ср}=\frac{1500\cdot5+1000\cdot5+450\cdot30}{40}=\frac{26000}{40}=650 \text{ МПа};$$

$E^{III}_{общ}$ = 65 МПа; $\frac{E_{ср}}{E^{III}_{общ}}$ = 10; $\frac{h}{D}$ = 1,21; $\frac{\tau_{a.м}}{p}$ = 0,0051;

$\tau_{a.м}$ = 0,0051·0,6=0,00306 МПа; $\tau_{a.б}$ =-0,0019 МПа;

$\tau_a=\tau_{a.м}+\tau_{a.б}$ =0,00116 МПа; $\tau_{a.доп}$ = 0,8·0,003=0,0018МПа;

$\tau_a < \tau_{a.доп}$.

В связи с тем, что для обеспечения условия сдвига в песке подстилающего слоя необходимо увеличить толщину вышележащих слоев дорожной одежды, очевидно, можно уменьшить толщину слоя песка, так как подстилающий грунт будет работать с большим запасом прочности.

Уменьшаем толщину слоя песка на 15 см. Тогда

$$E_{ср}=\frac{1500\cdot5+1000\cdot5+450\cdot30+100\cdot35}{75}=393 \text{ МПа};$$

$$\frac{E_{ср}}{E_{гр}}=\frac{393}{24}=16,4;\ \frac{h}{D}=\frac{75}{33}=2,27;\ \frac{\tau_{a.м}}{p}=0,009;$$

$\tau_{a.м}$ =0,009·0,6 = 0,0054 МПа; $\tau_{a.б}$ = 0,0007 МПа;

$\tau_a=\tau_{a.м}+\tau_{a.б}$ = 0,0061 МПа; $\tau_a < \tau_{a.доп}$= 0,0064 МПа.

Определяем требуемый модуль упругости дорожной конструкции по номограмме рис.4 ВСН 46–72: $E_{общ}$ = =225 МПа, при этом приведенная интенсивность движения $\bar{N}_{пр.i}$, определяемая по номограмме рис.2 ВСН 46-72, составляет 900 авт./сут.

Определяем срок службы дорожной одежды, принятой по проекту, по формуле (16):

$$T_i = \frac{1}{\lg q} \lg \left[\frac{N_{пр.i}(q-1)}{\gamma N_1} + 1 \right],$$

где $N_{пр.i}$ по номограмме рис.2 ВСН 46-72 составляет 320 авт./сут при E =200 МПа;

N_1 – по формуле(17)

$$N_1 = \frac{\bar{N}_{пр.i}}{q^{T-1}} = \frac{900}{1,1^{14}} = 237 \text{ авт./сут.}$$

Таким образом,

$$T_i = \frac{1}{\lg 1,1} \lg \left[\frac{320(1,1-1)}{0,12 \cdot 237} + 1 \right] = \frac{0,32736}{0,0414} = 8 \text{ лет.}$$

Согласно ВСН 21-75, стоимость ремонта 1 м^2 дорожной одежды II категории с асфальтобетонным покрытием составит:

среднего $C_{с.р} = 0,59$ руб.;

текущего ремонта и содержания $C_{т.р,с} = 0,06484$ руб. в год.

Так как по существующим нормативам средний ремонт проводится через 3-4 года, но не менее двух средних ремонтов до капитального, проведение средних и капитальных ремонтов после строительства распределяется по годам следующим образом:

а) базовый вариант:
- 1-й средний ремонт – 3-й год;
- 2-й средний ремонт – 6-й год;
- 1-й капитальный ремонт – 8-й год;
- 3-й средний ремонт – 11-й год;
- 4-й средний ремонт – 14-й год;

б) сравниваемый вариант:
- 1-й средний ремонт – 4-й год;
- 2-й средний ремонт – 8-й год;
- 3-й средний ремонт – 12-й год;
- 1-й капитальный ремонт – 15-й год.

Текущий ремонт для обоих вариантов производят ежегодно.

Стоимость среднего ремонта 1 км дороги по базовому варианту в соответствии с формулой (19) составит:

$$C_{с.р1}=\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{3}}+\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{6}}+\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{11}}+$$

$$+\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{14}}=9704 \text{ руб.}$$

Стоимость среднего ремонта по сравниваемому варианту составит:

$$C_{с.р2}=\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{4}}+\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{8}}+\frac{0{,}59\cdot 7{,}5\cdot 1000}{1{,}08^{12}}=7399 \text{ руб.}$$

Стоимость текущего ремонта и содержания для обоих сравниваемых вариантов одинакова и составит:

$$C_{т.р,с}=0{,}06484\cdot 7{,}5\cdot 1000\left(\frac{1}{1{,}08}+\frac{1}{1{,}08^{2}}+\frac{1}{1{,}08^{3}}+\ldots+\frac{1}{1{,}08^{15}}\right)=$$

$$=4163 \text{ руб.}$$

Таким образом, общая приведенная стоимость средних и текущих ремонтов на 1 км дороги будет равна:

для базового варианта

$C_1 = 9704+4163 = 13867$ руб.;

для сравниваемого варианта

$C_2 = 7399+4163 = 11562$ руб.

Годовые затраты, определяемые по формуле

$$C_{год}=\frac{C}{\sum_{1}^{T}\left(\frac{1}{1+E_{н.п}}\right)^{T}},$$ составят

$C_1 = 1620$ руб. в год, $C_2 = 1391$ руб. в год.

Капитальные вложения на 1 км дороги для базового варианта составят:

$$K_1=\left[K_0+\frac{K_{к.р}}{(1+E_{н.п})^{T}}\right]S,$$

где K_0 – стоимость строительства 1 м^2 дорожной одежды, принимаемая по ВСН 21-75 равной 11,72 руб;

$K_{к.р}$ – стоимость капитального ремонта 1 м^2 дорожной одежды, $K_{к.р} = 4{,}93$ руб.

Таким образом, на 1 км дороги

$$K_1 = (11{,}72 + \frac{4{,}93}{1{,}088}) \cdot 7500 = 107876 \text{ руб.}$$

Капитальные вложения на 1 км дороги для сравниваемого варианта составят:

$$K_2 = \left[K_0 + K_{щ} - K_п + \frac{K_{к.р}}{(1+E_{н.п})^T} \right] S ,$$

где $K_{щ}$ – дополнительные затраты на устройство 1 м^2 щебеночного основания толщиной 30 см (вместо 20 см по проекту);

$K_п$ – снижение затрат на устройство песчаного подстилающего слоя толщиной 35 см (вместо 50 см по проекту).

Стоимость устройства щебеночного основания складывается из стоимостей материала, эксплуатации машин и основной заработной платы.

В соответствии с единичными расценками 32-83 т. 45-23-б и 32-84 т. 45-23-в ЕРЕР, стоимость устройства 100 м^2 дополнительного щебеночного основания толщиной 10 см составит 129,31 руб.

При этом $K_{щ} = \frac{129{,}31}{100} = 1{,}29$ руб.

Снижение стоимости устройства 1 м^2 песчаного подстилающего слоя толщиной 35 см вместо 50 см в соответствии с единичными расценками 32-56 т. 45-18-а за счет стоимости песка составит 0,45 руб.

Таким образом,

$$K_2 = (11{,}72 + 1{,}29 - 0{,}45 + \frac{4{,}93}{1{,}08^{15}}) \cdot 7500 = 105856 \text{ руб.}$$

Приведенные затраты по базовому и сравниваемому вариантам на 1 км дороги в год рассчитываем по формуле (15):

$P_{пр.1} = 1620 + 107876 \cdot 0{,}12 = 14564$ руб.;

$P_{пр.2} = 1351 + 105856 \cdot 0{,}12 = 14054$ руб.

Экономический эффект от увеличения срока службы дорожной одежды на 1 км дороги в год составит

$$Э = 14564 - 14054 = 510 \text{ руб.}$$

Методика определения расчетных значений сопротивления песчаных грунтов сдвигу

Расчетные значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления C определяют при испытании образцов грунта в лаборатории.

Образцы испытывают на приборах трехосного сжатия (стабилометрах), оборудованных специальным устройством, позволяющим проводить испытания грунтов как в статическом режиме нагружения, так и в условиях повторного воздействия нагрузки.

Для получения расчетных величин прочностных характеристик образцы грунта испытывают при влажности и плотности, соответствующих состоянию грунта в расчетный период.

Испытания проводят на образцах-цилиндрах при отношении диаметра к высоте 1:2. Минимальный диаметр образца при максимальном размере зерен песчаного грунта 5 мм принимают равным 60 мм. Образцы из песчаных грунтов приготавливают в разъемной металлической форме, в которую предварительно устанавливают тонкую резиновую оболочку с перфорированным зажимом, поддерживающим образец снизу. Уплотненный послойно до требуемой плотности образец вместе с формой помещают в камеру прибора. После удаления разъемной формы камеру заполняют водой.

Испытания проводят по открытой схеме при трех различных значениях бокового давления σ_3 в диапазоне реально действующих напряжений в дорожной конструкции.

В начальной стадии статических испытаний нагружение осуществляется двумя-тремя ступенями нагрузки по 0,01–0,015 МПа (в зависимости от бокового давления

σ_3) с выдерживанием каждой ступени до условной стабилизации осевой деформации (0,01 мм за 5 мин), после чего производят разгрузку образца и фиксируют величину упругой восстанавливающейся деформации для расчета модуля упругости грунта E по формуле

$$E = \frac{\Delta\sigma_1}{\lambda}, \qquad (1)$$

где $\Delta\sigma_1$ – девиатор осевой нагрузки, МПа;

λ – относительная величина восстанавливающейся деформации.

Необходимо отметить, что ступени нагрузки подбирают таким образом, чтобы их суммарная величина была меньше начальной критической нагрузки на грунт[x].

Дальнейшее нагружение образца осуществляют непрерывно с постоянной скоростью 0,005–0,01 МПа/мин. Такая скорость нагружения может быть достигнута с помощью отрегулированной струи воды или песка.

В процессе нагружения фиксируют вертикальные и объемные деформации образца. Нагружение проводят до достижения интенсивного роста осевой или объемной деформации.

По результатам испытаний строят графики зависимостей осевой и объемной деформаций от нагрузки (рис.1 данного приложения), по которым определяют критические напряжения $\sigma_1^{кр} = \Delta\sigma_1^{кр} + \sigma_3$.

Величина критического напряжения соответствует минимуму объемной деформации образца грунта.

На основании данных определения $\sigma_1^{кр}$ для различных значений σ_3 после статистической обработки строят диаграмму Мора (рис.2 данного приложения) и определяют статические значения расчетного угла внут-

---

[x] При нагрузке, называемой начальной критической, грунт переходит из фазы уплотнения в фазу сдвига с появлением отдельных площадок скольжения и сдвига.

реннего трения и удельного сцепления грунта при данных влажности и плотности.

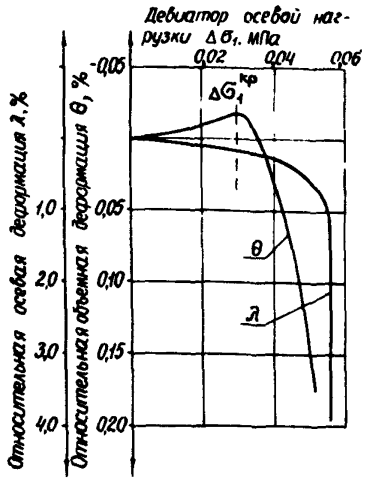

Рис.1. Закономерность деформирования образцов грунта при статических испытаниях. Песок мелкий, $S_r = 1$, $\sigma_3 = 0{,}01$ МПа

Динамические испытания заключаются в приложении к испытываемому образцу грунта осевых повторных нагрузок с параметрами нагружения, соответствующими реально действующим на автомобильной дороге (амплитуда нагрузки $\sigma_N = 0{,}02 \div 0{,}15$ МПа, время действия $t_{g.H} = (0{,}1 \div 0{,}2$ с) при тех же значениях бокового давления, что и при статических испытаниях. В течение одного испытания повторные нагрузки остаются постоянными. Испытания проводятся во всем диапазоне действующих в ре-

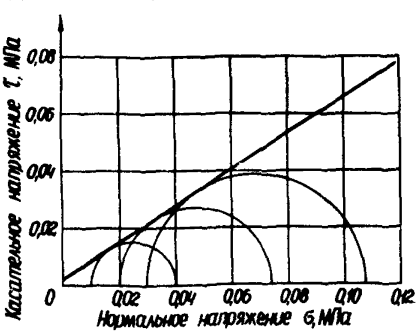

Рис.2. Диаграмма Мора. Песок мелкий, $S_r = 1$

альных условиях нагрузок, начиная с минимальной. Последующие испытания осуществляются при нагрузках, больше предыдущих на величину, не превышающую значение бокового давления, при котором проводятся испытания.

При небольшой динамической нагрузке испытания проводятся до 10 тыс.циклов нагружения. Серия испытаний при определенном значении бокового давления прекращается испытанием нагрузкой, воздействие которой вызывает интенсивное накопление осевых и объемных деформаций через 1000 циклов приложения нагрузки.

В ходе испытания с помощью специальной измерительной аппаратуры регистрируются изменения осевой и объемной деформаций образца, а также режим нагружения.

По результатам испытаний для определенного количества циклов воздействия нагрузки (100, 500, 1000, 5000 и 10000 циклов) строятся зависимости накопления осевой и объемной деформаций от действующей динамической нагрузки (рис.3 настоящего приложения).

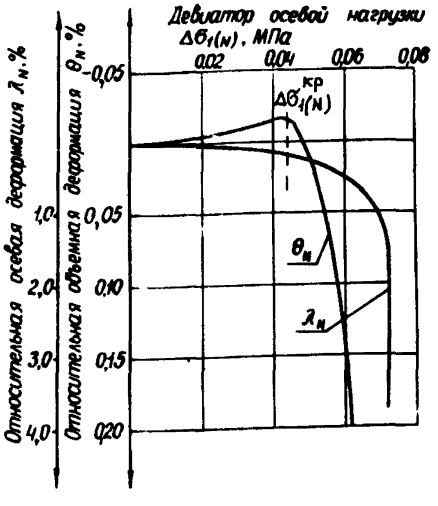

Рис.3. Закономерность деформирования грунта при повторном нагружении. Песок мелкий, S_r =1, σ_3 =0,02 МПа, f =2 Гц, N =10^4 циклов

По этим и аналогичным им статическим зависимостям определяются коэффициенты динамической устойчивости песчаного грунта для указанного количества циклов:

$$K_N^{\lambda} = \frac{\sigma_{1(N)}^{\lambda}}{\lambda} \quad ; \tag{2}$$

$$K_N^{\theta} = \frac{\sigma_{1(N)}^{\theta}}{\sigma_1^{\theta}} \quad , \tag{3}$$

где $\sigma_{1(N)}^{\lambda}(\sigma_{1(N)}^{\theta})$ – напряжение, соответствующее определенной величине накопленной осевой (объемной) деформации образца при повторном воздействии нагрузки для определенного количества циклов ее приложения;

$\sigma_1^{\lambda}(\sigma_1^{\theta})$ – напряжение, соответствующее той же величине осевой (объемной) деформации образца при статическом воздействии нагрузки.

После статистической обработки результатов определения K_N^{λ} и K_N^{θ} для определенного количества воздействий нагрузки N по расчетным значениям K_N строится зависимость $K_N = f(\lg N)$ (рис.4 данного приложения), по которой графически (экстраполяцией) определяется значение K_N для количества циклов воздействия нагрузки $N > 10000$.

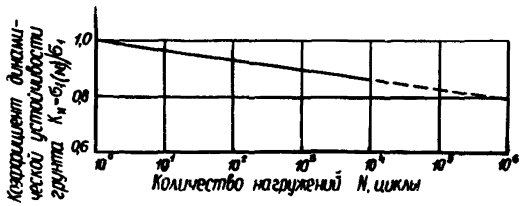

Рис.4. Зависимость коэффициента динамической устойчивости грунта от количества циклов нагружения. Песок мелкий, $S_r = 1$, $\sigma_3 = 0{,}02$ МПа

По данным определения K_N для различных значений σ_3 вычисляют величины $\sigma_{1(N)}^{кр} = \sigma_1^{кр} K_N$, строят диаграмму Мора и определяют расчетные критические значения прочностных характеристик грунта φ_N и C_N при повторном нагружении.

При невозможности проведения испытаний образцов грунта в условиях воздействия повторных нагрузок определять расчетные величины угла внутреннего трения φ_N и удельного сцепления C_N крупных, средней крупности и мелких песков для заданного количества циклов нагружения можно приближенно по результатам статических испытаний.

По данным определения статических расчетных значений $\sigma_1^{кр}$, используя полученные в результате выполненных экспериментальных исследований эмпирические зависимости, устанавливают $\sigma_{1(N)}^{кр}$ по формуле

$$\sigma_{1(N)}^{кр} = \sigma_1^{кр} \cdot K_N = \sigma_1^{кр}(1 - \alpha \lg N), \qquad (4)$$

где α – интенсивность снижения коэффициента динамической устойчивости.

Для песчаных грунтов при степени их влажности $S_r = 1$

$$\alpha = 0{,}0535 \cdot K_\varphi^{-0{,}1}; \qquad (5)$$

при $S_r = 0{,}3$

$$\alpha = 0{,}0323 \cdot K_\varphi^{-0{,}036}. \qquad (6)$$

По данным определения $\sigma_{1(N)}^{кр}$ для различных значений σ_3 строят диаграмму Мора и определяют угол внутреннего трения φ_N и удельное сцепление C_N.

Содержание

Предисловие 3

1. Общие положения 5

2. Материалы для устройства дренирующих слоев 9

3. Расчет дренирующих слоев, работающих по принципу поглощения 12

4. Определение динамических значений прочностных и деформационных характеристик песка . . 15

5. Технико-экономическое обоснование проектных решений 20

6. Примеры расчета 24

Приложение. Методика определения расчетных значений сопротивления песчаных грунтов сдвигу 34

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДРЕНИРУЮЩИХ СЛОЕВ И УТОЧНЕНИЮ ТРЕБОВАНИЙ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ИХ УСТРОЙСТВА

Ответственный за выпуск инж. Е.И.Эшель

Редактор Ж.П.Иноземцева
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректор Т.М.Бирюшова

Подписано к печати 27.XI.84. Л 101717. Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Бумага офсетная № 1. Уч.-изд.л. 1,9.
Печ.л. 2,3. Тираж 1100. Заказ 11-5 . Цена 29 коп.

Участок оперативной полиграфии Союздорнии
143900,Московская обл., г.Балашиха-6, ш.Энтузиастов, 79