

## 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ НЕЖЕСТКИХ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

### 5.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Дорожные одежды нежесткого типа устраиваются, как правило, из нескольких конструктивных слоев.

*Покрытие* (однослойное и двухслойное) с устройством (в необходимых случаях) поверхностной обработки различного назначения (для повышения шероховатости, защитные и др.). Покрытие воспринимает усилия от колес транспортных средств и подвергается непосредственному воздействию погодно-климатических факторов; оно должно обеспечивать эксплуатационные качества проезжей части: прочность, ровность, шероховатость, трещиностойкость; хорошо сопротивляться износу.

*Основание* (однослойное и двухслойное) – несущая прочная часть одежды. Совместно с покрытием основание обеспечивает перераспределение напряжений и снижение их величины в нижних дополнительных слоях одежды и в грунте рабочего слоя земляного полотна. Основание обеспечивает морозоустойчивость и осушение конструкции.

*Дополнительный слой основания* укладывается на подстилающий грунт. В зависимости от выполняемой функции дополнительный слой называют морозозащитным, теплоизоляционным, дренирующим, противозаиливающим, выравнивающим и др. Дополнительные слои устраивают на участках с неблагоприятными климатическими и грунтово-гидрологическими условиями. Гидро- и пароизоляционные, капилляропрерывающие и другие прослойки также относят к дополнительным слоям.

По степени капитальности нежесткие дорожные одежды разделены на четыре типа (табл. 5.1).

Капитальные и облегченные дорожные одежды с усовершенствованными покрытиями проектируют с таким расчетом, чтобы за межремонтный срок не возникло разрушений и остаточных деформаций, недопустимых нормативными документами.

Облегченные одежды с усовершенствованными покрытиями рассчитывают на менее продолжительный межремонтный срок службы, чем с капитальными. Это позволяет применять менее долговечные (менее прочные) дешевые материалы и облегчить конструкцию.

Таблица 5.1

Классификация дорожных одежд и покрытий [17]

Типы дорожных одежд	Виды покрытий, материал и способы его укладки
Капитальные усовершенствованные	из горячих асфальтобетонных смесей
Облегченные	а) из горячих асфальтобетонных смесей б) из холодных асфальтобетонных смесей в) из органоминеральных смесей с жидкими органическими вяжущими, с жидкими органическими вяжущими совместно с минеральными; с вязкими, в том числе эмульгированными органическими вяжущими; с эмульгированными органическими вяжущими совместно с минеральными; из каменных материалов и грунтов, обработанных битумом по способу смешения на дороге или методами пропитки; из каменных материалов, обработанных органическими вяжущими методом пропитки; черного щебня, приготовленного в установке и уложенного по способу заклинки; из пористой и высокопористой асфальтобетонной смеси с поверхностной обработкой; из прочного щебня с двойной поверхностной обработкой
Переходные	из щебня прочных пород, устроенные по способу заклинки без применения вяжущих материалов; из грунтов и малопрочных каменных материалов, укрепленных вяжущими; булыжного и колотого камня (мостовые)
Низшие	из щебеночно-гравийно-песчаных смесей; малопрочных каменных материалов и шлаков; грунтов, укрепленных или улучшенных различными местными материалами; древесных материалов и др.

Одежды переходного типа (гравийные, щебеночные и др.), выравнивание которых не сопряжено со значительными затратами, допускают возможность более значительного накопления остаточных деформаций под действием движения.

Запроектированная дорожная одежда должна быть не только прочной и надежной в эксплуатации, но и экономичной и менее материалоемкой, а также соответствовать экологическим требованиям. Экономичность конструкции определяется по результатам сопоставления вариантов с оценкой сравнительной экономической эффективности капитальных вложений по действующим нормативным документам. Выбор конструкции дорожной одежды и типа покрытия обосновывают технико-экономическим анализом.

## 5.2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

При конструировании дорожных одежд необходимо руководствоваться следующими принципами:

- конструкция одежды может быть типовой или разработана индивидуально для участков дороги, характеризующихся сходными природными условиями, одинаковыми расчетными нагрузками и обеспеченностью строительными материалами;

- в соответствующих элементах конструкции должны использоваться местные малопрочные материалы (с предварительной переработкой или укреплением вяжущими: цемент, битум, известь, активные золы уноса и др.);

- конструкция должна быть технологичной и обеспечивать возможность максимальной механизации строительных работ;

- при назначении типов покрытия для разных вариантов конструкций одежд следует соблюдать требования СНиП [3], руководствоваться ОДН 218.046–01 и другими нормативными документами, утвержденными в установленном порядке.

Последовательность конструирования дорожных одежд:

- назначение вида покрытия;

- выбор материалов для устройства слоев дорожной одежды и их размещение в конструкции;

- назначение числа конструктивных слоев и их ориентировочных толщин;

- назначение морозо- или теплозащитных и других дополнительных слоев, а также мер по повышению трещиностойкости и сдвигоустойчивости слоев на основе предварительной оценки их необходимости и целесообразности;

- отбор конкурентоспособных вариантов с учетом местных природных и проектных условий работы.

*Назначение вида покрытия*

Вид покрытия назначают в зависимости от категории дороги и ее капитальности [18]. Капитальные одежды с асфальтобетонным покрытием применяют на дорогах I – III категорий, на основных внутрихозяйственных дорогах крупных промышленных предприятий и важных строительных объектов. На магистральных дорогах с тяжелым и скоростным движением основания нужно устраивать преимущественно из укрепленных материалов. Дорожные одежды, основа-

ния которых выполнены из укрепленных материалов (в том числе из уплотненных грунтов), работают эффективно при любых нагрузках.

При выборе материала для верхнего слоя основания надо учитывать категорию дороги и тип покрытия. Кроме того, необходимо помнить, что слои, обработанные органическими вяжущими, обладают лучшими деформационными качествами, чем укрепленные неорганическими вяжущими. Но материалы, содержащие органическое вяжущее, очень чувствительны к высокой положительной температуре, при которой снижается их сдвигоустойчивость. При значительных отрицательных температурах повышается хрупкость материала.

Асфальтобетонное покрытие должно быть, как правило, однослойное. Минимальную толщину покрытия назначают по нормам действующего СНиП.

Для верхнего слоя асфальтобетонного покрытия выбирают материал в соответствии с ГОСТ 9128–97 (табл. 5.2). Основания дорожных одежд следует проектировать из материалов, указанных в табл. 5.3.

При перспективной интенсивности движения до 3000 *ед/сут* и при стадийном строительстве допускается конструкция покрытия из *пористого* асфальтобетона с поверхностной обработкой. Если покрытие из *высокопористого* асфальтобетона, необходима двойная поверхностная обработка.

Конструкция дорожной одежды в местах остановок общественного транспорта, на регулируемых пересечениях и в других местах изменения скорости должна обеспечить повышенную сдвигоустойчивость при высоких летних температурах. С этой целью покрытия устраивают из асфальтобетонных смесей типа А и Б, высокоплотных смесей, а основание – из крупнозернистых смесей либо из каменных материалов, укрепленных цементом.

При стадийном строительстве или возможном перспективном повышении капитальности дорожной одежды допускается применение холодного асфальтобетона.

Асфальтобетонную часть несущего *основания* следует проектировать *однослойной*. Двухслойное асфальтобетонное основание допускается применять лишь при необходимости использования в нижнем слое основания асфальтобетонов пониженной сдвигоустойчивости (высокопористый, песчаный). В этом случае общая толщина асфальтобетонных слоев повышенной сдвигоустойчивости (покрытие + основание из крупнозернистого асфальтобетона) должна быть не менее 12 см.

Таблица 5.2

Область применения асфальтобетонов при устройстве верхних слоев покрытий автомобильных дорог и городских улиц

ДКЗ	Вид асфальтобетона	Категория автомобильной дороги					
		I, II		III		IV	
		Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума	Марка смеси	Марка битума
I	Плотный и высокоплотный	I	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300	II	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200	III	БНД 90/130 БНД 130/200 БНД 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
II, III	Плотный и высокоплотный	I	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130	II	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300	III	БНД 60/90 БНД 90/130 БНД 130/200 БН 90/130 БН 60/90 БН 90/130 БН 130/200 БН 200/300 СГ 130/200 МГ 130/200 МГО 130/200
	Из холодных смесей	—	—	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200
IV, V	Плотный	I	БНД 40/60 БНД 60/90 БН 40/60 БН 60/90	II	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130	III	БНД 40/60 БНД 60/90 БНД 90/130 БН 40/60 БН 60/90 БН 90/130
	Из холодных смесей	—	—	I	СГ 70/130 СГ 130/200	II	СГ 70/130 СГ 130/200 МГ 70/130 МГ 130/200 МГО 70/130 МГО 130/200

Примечания: 1. Для городских скоростных и магистральных улиц и дорог следует применять асфальтобетоны из смесей видов и марок, рекомендуемых для дорог I и II категорий; для дорог промышленно-складских районов – рекомендуемых для дорог III категории; для остальных улиц и дорог – рекомендуемых для дорог IV категории.

2. Битумы марок БН рекомендуется применять в мягких климатических условиях, характеризующихся средними температурами самого холодного месяца года выше минус 10 °С.
3. Битум марки БН 40/60 должен соответствовать технической документации, утвержденной в установленном порядке.

Таблица 5.3

**Материалы для оснований и нижних слоев  
покрытия дорожных одежд**

Категория дороги	Материал
I, II	Горячие и холодные смеси для пористого асфальтобетона марки II, высокопористого асфальтобетона марки I Горячие смеси для пористого дегтебетона марки II
III	Горячие смеси для высокопористого асфальтобетона марки II
II– III	Каменные материалы, обработанные органическими вяжущими методами смешения в установке, пропитки, смешения на дороге
III, IV	Грунты, обработанные битумными эмульсиями, или жидкими битумами, или каменноугольными вяжущими совместно с цементом или известью
III– V	Грунты, укрепленные минеральными вяжущими с добавками или без добавок ПАВ или активных веществ, I и II классов прочности
IV, V	Грунты, обработанные органическими вяжущими с добавкой ПАВ или без добавки

Основание из зернистых материалов, как правило, должно быть двухслойным: несущий слой из жестких и сдвигоустойчивых материалов (щебень, гравий, щебеночно- или гравийно-песчаные смеси, материалы и грунты, укрепленные неорганическим вяжущим) и дополнительный слой, выполняющий морозозащитные и дренирующие функции.

*Конструирование капитальных дорожных одежд*

Несущий слой *основания* капитальных одежд следует устраивать из прочных материалов: пористого асфальтобетона; щебеночных смесей, обработанных битумной эмульсией; фракционированного щебня, обработанного вязким битумом по способу пропитки; фракционированного щебня, уложенного по принципу расклинки.

На дорогах, предназначенных для движения автомобилей грузоподъемностью 8 т и более, верхняя часть несущего основания должна быть предусмотрена из асфальтобетона, если толщина слоев покрытия 3–5 см.

Нижняя часть несущего основания может устраиваться из укрепленных грунтов, каменных материалов (монолитные слои), а также из зернистых материалов, отвечающих требованиям СНиП и ГОСТов.

Для дорог с большой интенсивностью движения необходимо укладывать разделяющие прослойки из геотекстиля – на контакте слоев из крупнозернистых материалов (щебень, гравий) и из песка (в целях предотвращения заиливания).

#### *Конструирование облегченных и переходных дорожных одежд*

Дорожные одежды облегченного типа с усовершенствованным покрытием (асфальтобетонные, дегтебетонные, из черного щебня, из щебня, обработанного вяжущими по способу пропитки, из крупнообломочных материалов, из песчаных грунтов, обработанных в установке битумной эмульсией совместно с цементом) целесообразно применять на дорогах III, IV категорий, а также при стадийном строительстве дорожных одежд на дорогах II категории.

Предварительную толщину покрытия из асфальтобетона облегченных одежд следует назначать равной 4–6 см, а при использовании прочих (указанных выше) материалов – 6–8 см.

Основания для облегченных одежд с усовершенствованным покрытием предусматривают из монолитных зернистых материалов. При этом на дорогах III и IV категорий целесообразно устраивать основание из гравийно-песчаных смесей, обработанных эмульсией; различных материалов и грунтов побочных продуктов промышленности, обработанных неорганическими комплексными вяжущими, щебеночных и щебеночно-гравийных смесей.

Дорожные одежды *переходного* типа (щебеночные и гравийные из прочных пород; из малопрочных каменных материалов и грунтов, укрепленных органическими, неорганическими или комплексными вяжущими; мостовые из булыжного и колотого камня) можно предусматривать на дорогах IV и V категорий, а также при стадийном строительстве дорожной одежды на дорогах III категории. При этом надо стремиться, чтобы одежда состояла из одного-двух слоев.

Для покрытий, устраиваемых по способу заклинки, применяют фракционированный щебень естественных горных пород, щебень горнорудных отходов и щебень из малоактивных металлургических шлаков, отвечающих требованиям ГОСТов.

#### *Конструирование дополнительных слоев основания*

Дополнительные слои создают условия для снижения толщины вышележащих слоев из дорогостоящих материалов.

*Морозозащитные слои* устраивают из стабильных зернистых материалов: песка, песчано-гравийной смеси, гравия, щебня, шлаков

и других непучинистых материалов. Для морозозащитных слоев можно использовать грунты, укрепленные вяжущими и гидрофобизированные. Морозозащитный слой рекомендуется устраивать на всю ширину земляного полотна с выходом на откосы насыпи; тогда он выполняет и функцию дренирующего слоя.

*Дренирующие слои* устраивают на участках с земляным полотном из недренирующих грунтов во всех случаях при 3-й схеме увлажнения рабочего слоя земляного полотна; при необеспеченном стоке поверхностных вод в районах с большим количеством осадков (II и III ДКЗ), а также на участках, где запроектированы вогнутые кривые, в выемках, нулевых отметках и других случаях, когда возможно скопление воды в основании проезжей части.

*Капилляропрерывающие прослойки* толщиной 10–15 см из крупного песка или гравия предусматривают на всю ширину земляного полотна. Для предохранения прослойки от быстрого загрязнения под и над ней устраивают прослойки, играющие роль фильтров.

Если крупнообломочный материал (типа щебня, гравия, шлака) укладывается непосредственно на грунт земляного полотна, предусматривают *прослойку*, препятствующую взаимопрониканию материалов смежных слоев. В качестве прослойки можно применять мелкий щебень, высевки, гравийно-песчаные смеси, крупные и средней крупности пески, непывеватые шлаки, непучинистые золошлаки, геотекстильные материалы и др.

Толщину прослойки из зернистого материала нужно принимать от 5 до 20 см в зависимости от степени увлажнения земляного полотна. Защитной прослойкой может служить слой из грунта, укрепленного вяжущими, толщиной 5–8 см.

Прослойку из геотекстильных материалов следует также предусматривать при укладке крупнопористых материалов на песчаный слой на дорогах I – III категорий.

На пучиноопасных участках рекомендуется предусматривать *теплоизоляционные слои* из специальных материалов, если традиционные мероприятия по обеспечению морозоустойчивости конструкции технически сложны или экономически нецелесообразны. Для устройства теплоизоляционных слоев в особо неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях («мокрые» выемки, низкие насыпи, высокое залегание грунтовых вод и т. д.) в качестве теплоизолятора могут использоваться легкие бетоны, керамзит, аглопорит, гранулы полистирола и др.



Расстояние от поверхности покрытия до теплоизолирующего слоя должно быть не менее 0,5 м (для предотвращения опасности гололедообразования). Теплоизолирующий слой должен быть шире проезжей части на 0,5–1,5 м с каждой стороны.

Морозоустойчивость дорожной конструкции обеспечена без дополнительных мероприятий в следующих условиях:

- в районах с глубиной промерзания менее 0,6 м;
- при земляном полотне из непучинистых грунтов;
- если общая толщина дорожной одежды по условиям прочности превышает  $2/3$  глубины промерзания.

Дренирующие слои с водоотводными устройствами (в основаниях и дополнительных слоях) следует назначать на тех участках, где земляное полотно выполнено из глинистых грунтов или из пылеватых песков в следующих случаях:

- во II ДКЗ при всех схемах увлажнения рабочего слоя;
- в III ДКЗ при второй и третьей схемах увлажнения земляного полотна;
- в IV и V ДКЗ при третьей схеме увлажнения.

Толщину дополнительных слоев оснований рассчитывают отдельно согласно требованиям СНиП [3] по методике, изложенной в инструкции ОДН 218.046–01.

При этом следует помнить, что если в дополнительном слое основания применяют песок, коэффициент неоднородности которого  $K_n < 3$ , то поверх песка необходимо предусмотреть *защитный* (технологический) слой из гравелистых или крупных песков оптимального состава, из щебеночно-(гравийно-)песчаных смесей или отсевов дробления изверженных пород.

Толщина защитного слоя принимается равной  $h_3 = 10$  см при  $K_H$  2–3 и  $h_3 = (15–20)$  см при  $K_H < 2$ .

#### *Назначение количества и толщины слоев*

Число слоев одежды более всего зависит от ее капитальности и прочностных свойств используемых материалов, но во всех случаях необходимо предусматривать по возможности меньшее число слоев.

Согласно ОДН 218.046–01 асфальтобетонные покрытия должны быть, как правило, однослойными нормативной толщины (табл. 5.4), а толщина слоя асфальтобетонного основания должна определяться расчетом на прочность. Заметим, что однослойные асфальтобетонные покрытия удовлетворительно работают только на прочных основаниях,

обработанных органическим вяжущим, и на основаниях из низкомарочного «тощего» цементобетона.

Для капитальных одежд асфальтобетонные покрытия устраивают из сравнительно дорогих материалов, поэтому их толщину следует назначать близкой к минимальной, указанной в табл. 5.4. Однако следует помнить, что покрытия толщиной 3–5 см на дорогах, предназначенных для движения большегрузных автомобилей, удовлетворительно работают только на основаниях, верхний слой которых также из асфальтобетона.

Таблица 5.4

Наименьшая допускаемая толщина конструктивных слоев дорожной одежды

Материалы покрытий и других слоев дорожной одежды	Толщина слоя, см
Асфальтобетон или дегтебетон крупнозернистый	6–7
Асфальтобетон или дегтебетон мелкозернистый	3–5
Асфальтобетон или дегтебетон песчаный	3–4
Щебеночные (гравийные) материалы, обработанные органическими вяжущими	8
Щебень, обработанный органическим вяжущим по способу пропитки	8
Щебеночные и гравийные материалы, не обработанные вяжущими:	
на песчаном основании	15
на прочном основании (каменном или укрепленном грунте)	8
Каменные материалы и грунты, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10

Примечания: 1. Большие толщины асфальтобетонных покрытий следует принимать для дорог I и II категорий, а меньшие – для дорог III и IV категорий.

2. Толщину конструктивного слоя следует принимать во всех случаях не менее 1,5 размера наиболее крупной фракции применяемого в слое минерального материала.

3. В случае укладки каменных материалов на глинистые и суглинистые грунты следует предусматривать прослойку толщиной не менее 10 см из песка, высевок, укрепленного грунта или других водостойчивых материалов.

Толщину слоев из материалов, содержащих органическое вяжущее и укладываемых на верхний слой основания из материалов, укрепленных цементом, для ограничения «отраженных» трещин на покрытии нужно принимать не менее толщины слоев, укрепленных цементом. При этом толщина слоев с ОВ должна быть не менее 18 см при капитальных одеждах и 12 см при облегченных.

Размещая конструктивные слои одежды, необходимо помнить следующее:

- верхние слои двухслойных покрытий, равно как и верхние слои оснований, должны быть из более прочных материалов, чем нижние;
- однослойные покрытия (основания) следует проектировать из материалов, рекомендуемых для устройства верхних слоев покрытий (оснований).

### *Область применения малопрочных материалов*

Дорожные одежды с покрытием из малопрочных материалов на песчаном, гравийном и щебеночном основаниях, а также на основании из укрепленного грунта удовлетворительно работают только в IV и V ДКЗ при интенсивности движения не более 100 *авт/сут* с нагрузкой на ось не более 70 *кН*. При большей интенсивности движения малопрочные материалы следует обрабатывать вяжущими (органическими или минеральными). Наибольший эффект при устройстве оснований под усовершенствованные покрытия, а также при устройстве покрытий на дорогах IV и V категорий обеспечивают «тощий» цементобетон на основе слабого известнякового щебня, ракушечника, речных песчаников, а также гравийные материалы, укрепленные неорганическим вяжущим.

Шлаковый щебень из высококачественных и активных шлаков можно использовать для покрытий на дорогах IV – V категорий и оснований дорог II – IV категорий. Для улучшения прочности и деформационных качеств шлакового щебня его следует обработать вяжущими.

В случае использования в основании одежд местных малопрочных каменных материалов (щебень с маркой по прочности не ниже 200; гравий и щебень из условия по дробимости не ниже  $D_p 24$ ; песчано-гравийные смеси; гравелистые пески и другие сдвигоустойчивые материалы с модулем упругости менее 250 *МПа*) несущий слой основания должен быть из прочного щебня либо из укрепленных органическими вяжущими материалов с минимальной конструктивной толщиной, допускаемой СНиП [3]. При этом толщину нижнего слоя обосновывают расчетом.

Расположение неукрепленных материалов между слоями из материалов или грунтов, обработанных вяжущими, не допускается [17].

### *Пример конструирования дорожной одежды капитального типа*

**Задание:** выбрать вид покрытия, назначить число конструктивных слоев с выбором материала для их устройства; назначить ориен-

тировочные толщины слоев в соответствии с требованиями строительных норм.

**Исходные данные:**

- дорога III технической категории во II ДКЗ;
- интенсивность движения на конец срока службы  $N_p=700 \text{ авт/сут}$ ;
- приращение интенсивности  $q=1,05$ ;
- тип местности по характеру и степени увлажнения – 1-й;
- грунт рабочего слоя земляного полотна – суглинок легкий;
- обеспеченность местными дорожно-строительными материалами: песок среднезернистый, гравий из прочных осадочных пород, щебень карьерный;
- относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, доли ед. от влажности на границе текучести –  $0,62W_T$ ;
- заданный срок службы дорожной одежды – 12 лет.

**Решение**

В соответствии с условиями задания (дорога III категории,  $N_p=700 \text{ ед/сут}$  и т.д.) и с учетом требований нормативных документов (см. п. 2.5.1) назначаем тип дорожной одежды – капитальный; покрытие – однослойное асфальтобетонное. Помня, что при таком покрытии верхний слой основания должен быть также из асфальтобетона, предусматриваем двухслойное основание из прочных материалов:

- верхняя часть несущего основания – из пористого асфальтобетона;
- нижняя часть основания – из фракционированного щебня прочных горных пород, уложенная способом заклинки.

Поскольку грунт земляного полотна относится к водонепроницаемым ( $K_\phi < 0,005 \text{ м/сут}$ ), а II ДКЗ относится к районам с большим количеством осадков, предусматриваем в конструкции дренирующий слой (дополнительный слой основания) на всю ширину земляного полотна из песка среднезернистого с коэффициентом фильтрации  $K_\phi > 5 \text{ м/сут}$ .

*Выбор материалов для покрытия и основания*

Вид, марку и тип асфальтобетона для покрытия выбираем, ориентируясь на рекомендации ГОСТ 9128–97 (см. табл. 5.2) и требования СНиП 2.05.02–85.

Помня, что проектируемая дорога размещается в зоне повышенного увлажнения (количество осадков более  $500 \text{ мм/год}$ ), применяем в однослойном покрытии плотный асфальтобетон (с остаточной пори-

стостью свыше 2,5 до 5,0 %) типа *Б*. Асфальтобетонная смесь II марки на вязком битуме БНД 90/130; температура укладки смеси не ниже 120°С.

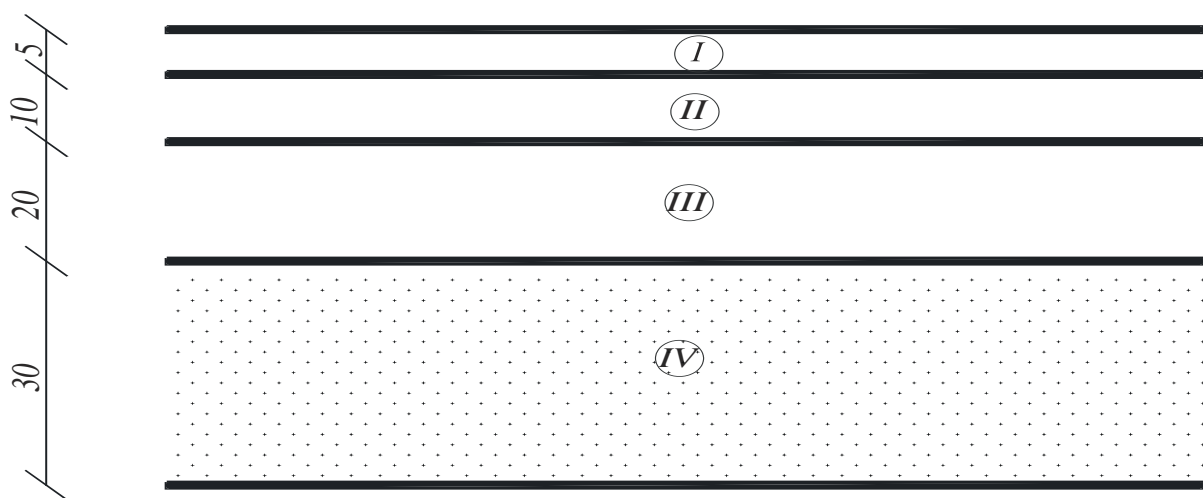
Верхний слой *основания* проектируем из пористого асфальтобетона (остаточная пористость свыше 5 до 10 %).

Для нижнего слоя несущего основания предусматриваем основной материал – щебень с крупностью зерен 40–80 мм; для расклинивания используем фракции от 5 до 20 мм.

Ориентировочную *толщину слоев* принимаем согласно рекомендуемой СНиП (см. табл. 5.4):

- покрытие из плотного асфальтобетона  $h_1 = 5$  см;
- верхний слой основания из крупнозернистого пористого асфальтобетона  $h_2 = 10$  см;
- нижний слой основания из фракционированного щебня без обработки вяжущими по ГОСТ 25607–94  $h_3 = 20$  см;
- дополнительный слой основания из средnezернистого песка  $h_n = 30$  см;

Принятая конструкция дорожной одежды схематично представлена на рис.5.1.



- Ⓘ - Плотный асфальтобетон из горячей мелкозернистой гравийной смеси типа *Б*, II марки (ГОСТ 9128-97);
  - Ⓢ - Асфальтобетон пористый из горячей крупнозернистой гравийной смеси II марки (ГОСТ 9128-97);
  - Ⓢ - Фракционированный щебень I кл. прочности, уложенный по способу заклинки по ГОСТ 25607-94;
  - Ⓢ - Песок средней крупности по ГОСТ 8736-93;
- Грунт рабочего слоя земляного полотна - суглинок легкий

Рис. 5.1. Конструкция дорожной одежды капитального типа

### 5.3. РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НА ПРОЧНОСТЬ

#### 5.3.1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под прочностью дорожной одежды понимают способность сопротивляться процессу остаточных деформаций и разрушений под действием касательных и нормальных напряжений, возникающих в конструктивных слоях и подстилающем грунте от расчетной нагрузки (кратковременной многократной или статической, однократно приложенной к поверхности покрытия).

Дорожные одежды следует проектировать с учетом требуемого уровня надежности  $K_n$ , под которой понимают вероятность безотказной работы в течение всего межремонтного периода.

Расчетный срок службы дорожной одежды допускается назначать в соответствии с рекомендациями ОДН 218.046–01; для дорог федерального значения межремонтные сроки следует принимать согласно [19].

В качестве количественного показателя отказа дорожной одежды принимают коэффициент разрушения  $K_{np}^{np}$ , представляющий собой отношение суммарной протяженности участков дороги, требующих ремонта из-за недостаточной прочности, к общей протяженности дороги. Значение  $K_{np}^{np}$  на последний год службы принимают в зависимости от капитальности одежды и категории дороги (табл. 5.5). Прочность конструкции количественно оценивается коэффициентом прочности  $K_{np}$ . Для вновь проектируемой конструкции  $K_{np}$  должен быть таким, чтобы в заданный межремонтный срок не наступил отказ по прочности, т.е. чтобы была обеспечена заданная (требуемая) надежность. Расчетный  $K_{np}$  должен быть не менее минимального значения  $K_{np}^{np}$ , принимаемого по табл. 5.5 в зависимости от расчетного критерия прочности.

#### *Критерии прочности дорожной одежды*

Дорожные одежды рассчитывают на прочность по трем критериям:

- сопротивлению упругому прогибу всей конструкции;
- сопротивлению сдвигу в грунте земляного полотна и слоях из слабосвязанных материалов;
- сопротивлению растяжению при изгибе монолитных слоев одежды.

Дорожные одежды капитального и облегченного типов рассчитывают по всем трем критериям.

Таблица 5.5

Требуемые минимальные коэффициенты прочности при заданных уровнях надежности для расчета дорожных одежд по различным критериям прочности

Тип дорожной одежды		Капитальный										
Категория дороги		I		II		III			IV			
Предельный коэффициент разрушения $K_{np}$		0,05				0,10						
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,98	0,95	0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$ по критерию	упругого прогиба	1,50	1,30	1,38	1,20	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	0,94	1,00	0,04	0,90	0,87
Тип дорожной одежды		Облегченный										
Категория дороги		III			IV				V			
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,15										
Заданная надежность $K_n$		0,98	0,95	0,90	0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$	упругого прогиба	1,29	1,17	1,10	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90
	сдвига и растяжения при изгибе	1,10	1,00	0,94	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80
Тип дорожной одежды		Переходный										
Категория дороги		IV					V					
Предельный коэффициент разрушения $K_p^{np}$		0,40										
Заданная надежность $K_n$		0,95	0,90	0,85	0,80	0,95	0,90	0,80	0,70			
Требуемый коэффициент прочности $K_{np}^{mp}$ по критерию	упругого прогиба	1,17	1,10	1,06	1,02	1,13	1,06	0,98	0,90			
	сдвига и растяжения при изгибе*	1,00	0,94	0,90	0,87	1,00	0,94	0,87	0,80			

\*Дорожные одежды переходного типа для дорог V категории по критерию растяжения при изгибе не рассчитываются.

Одежды переходного и низшего типов рассчитывают по двум критериям – упругому прогибу и сдвигоустойчивости.

Конструкции, предназначенные для движения особо тяжелых транспортных средств (со статической нагрузкой на ось 120 кН и более) по упругому прогибу не рассчитывают.

Дорожную одежду на перегонах рассчитывают на кратковременное многократное действие подвижных нагрузок. Одежды на остановках, перекрестках, подходах к пересечениям с железнодорожными путями и т.п. должны быть дополнительно проверены на однократное нагружение при продолжительности нагружения не менее 10 мин.

Одежды на стоянках автомобилей и обочинах дорог следует рассчитывать на продолжительное нагружение. В этом случае используются статические значения расчетных параметров и коэффициенты на повторность не вводятся. Расчет ведут по критериям сдвига в грунте и в слабосвязанных материалах, а также слоях, обработанных органическим вяжущим.

#### *Расчетные параметры подвижной нагрузки*

В качестве расчетного типа принимают наиболее тяжелый автомобиль из систематически обращающихся по дороге, доля которых составляет не менее 10 % (с учетом перспективы изменения состава движения к концу межремонтного срока).

Величины расчетного удельного давления колеса  $p$  и расчетного диаметра отпечатка шины  $D$  для расчетного автомобиля группы  $A$  можно принимать по табл. 5.6, если в задании на проектирование расчетная нагрузка не оговорена специально.

*Таблица 5.6*

#### Нормативные нагрузки на ось автомобиля, соответствующие предельным

Группа расчетной нагрузки	Нормативная статическая нагрузка на ось, кН	Нормативная статическая нагрузка на поверхность покрытия от колеса расчетного автомобиля $Q_{расч}$ , кН	Расчетные параметры нагрузки	
			$P$ , МПа	$D$ , см
$A_1$	100	50	0,60	37/33
$A_2$	110	55	0,60	39/34
$A_3$	130	65	0,60	42/37

Примечание. В числителе – для движущегося колеса, в знаменателе – для неподвижного.



*Определение количества приложений расчетной нагрузки на поверхность конструкции*

Для установления нормативных значений характеристик материалов слоев конструкции и грунта необходимо знать суммарное расчетное число приложений расчетной нагрузки к точке на поверхности конструкции за срок службы одежды  $\sum N_p$ , которое определяется по формуле

$$\sum N_p = 0,7 N_p \frac{K_c}{q^{(T_{cl}-1)}} T_{pдг} K_n, \quad (5.1)$$

где  $N_p$  – приведенная интенсивность движения на последний год срока службы одежды, *авт./сут*;

$$N_p = f_{пол} \sum_{m=1}^n N_m S'_m, \quad (5.2)$$

где  $K_c$  – коэффициент суммирования в зависимости от срока службы конструкции  $T_{cl}$ .

Для определения  $K_c$  можно использовать формулу

$$K_c = q^{T_{cl}-1} / (q-1), \quad (5.3)$$

где  $q$  – показатель изменения интенсивности движения данного типа автомобиля по годам (предусматривается в задании на проектирование);  $T_{pдг}$  – расчетное число дней в году за срок службы конструкции  $T_{cl}$ , устанавливается по данным региональных исследований. Расчетным считается день, в течение которого возможны накопления остаточной деформации в грунте земляного полотна или малосвязных слоях одежды (из-за повышенной влажности, температуры асфальтобетонных слоев и т.п.). Количество расчетных дней  $T_{pдг}$  для 7-го района (Свердловская, Омская, Томская, Тюменская области, Ханты-Мансийский край и др.) ориентировочно можно принимать 130 – 150 *дней* (меньшие значения для центральных регионов).  $K_n$  – коэффициент, учитывающий вероятность отклонения суммарного движения от среднего ожидаемого; принимается по табл. 5.7.

*Таблица 5.7*

Значения  $K_n$  для различных категорий дорог

Тип дорожной одежды	Значение коэффициента $K_n$ при различных категориях дорог				
	I	II	III	IV	V
Капитальный	1,49	1,49	1,38	1,31	–
Облегченный	–	1,47	1,32	1,26	1,06
Переходный	–	–	1,19	1,16	1,04

$f_{пол}$  – коэффициент, учитывающий число полос движения и распределение движения по ним.

Значения коэффициента  $f_{пол}$  принимают:

$f_{пол}=1,00$  – для однополосного движения;  $f_{пол}=0,55$  – для двухполосного движения;  $f_{пол}=0,50$  – при наличии трех полос движения (для полос №1 и №2);  $f_{пол}=0,35$  и  $f_{пол}=0,20$  – соответственно для полос №1 и №2 при наличии четырех полос. Порядковый номер полос считается справа по ходу движения.

Для расчета обочин принимают  $f_{пол}=0,01$ ;  $n$  – общее число транспортных средств в составе транспортного потока;  $N_m$  – число проездов в сутки в обоих направлениях транспортных средств  $m$ -й марки;  $S'_{т сум}$  – суммарный коэффициент приведения воздействия на дорожную одежду транспортного средства  $m$ -й марки к расчетной нагрузке допускается приближенно принимать по табл. 5.8.

Таблица 5.8

Значения суммарного коэффициента приведения  $S'_{сум}$   
к расчетной нагрузке

Типы автомобилей	Коэффициент приведения к расчетной нагрузке $S'_{т сум}$
Легкие грузовые автомобили грузоподъемностью от 1 до 2 т	0,005
Средние грузовые автомобили грузоподъемностью от 2 до 5 т	0,2
Тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью от 5 до 8 т	0,7
Очень тяжелые грузовые автомобили грузоподъемностью более 8 т	1,25
Автобусы	0,7
Тягачи с прицепами	1,5

### 5.3.2. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ В ЦЕЛОМ ПО ДОПУСКАЕМОМУ УПРУГОМУ ПРОГИБУ

Дорожная одежда удовлетворяет требованиям надежности и прочности по критерию упругого прогиба, если

$$E_{об} \geq E_{min} K_{np}^{mp}, \quad (5.4)$$

где  $E_{об}$  – общий расчетный модуль упругости конструкции, МПа;  $E_{min}$  – минимальный требуемый общий модуль упругости конструкции, МПа;  $K_{np}^{mp}$  – коэффициент прочности дорожной одежды по критерию упругого прогиба, принимаемый по табл. 5.5.

При  $\sum N_p > 4 \cdot 10^4$  величину  $E_{min}$  рекомендуется вычислять по формуле

$$E_{min} = 98,65 [\lg(\sum N_p) - c], \quad (5.5)$$

где  $c$  – эмпирический параметр, принимаемый равным для расчетной нагрузки на ось 100 кН – 3,55; 110 кН – 3,25; 130 кН – 3,05.

Независимо от результата, полученного по формуле (5.5), требуемый модуль упругости  $E_{min}$  должен быть не менее указанного в табл. 5.9.

Таблица 5.9

Минимальный требуемый общий модуль упругости

Категория дороги	Суммарное минимальное расчетное число приложений расчетной нагрузки на наиболее нагруженную полосу	Требуемый модуль упругости одежды, МПа		
		капитальной	облегченной	переходной
I	750000	230	–	–
II	500000	220	210	–
III	375000	200	200	–
IV	110000	–	150	100
V	40000	–	100	50

Последовательность расчета конструкции по упругому прогибу

1. Устанавливают коэффициент прочности  $K_{np}^{mp}$  при заданном уровне надежности  $K_n$  (см. табл. 5.5).

2. Вычисляют по формуле (5.1)  $\sum N_p$ .

3. Определяют по формуле (5.5) минимальный требуемый общий модуль упругости  $E_{min}$ , сравнивают его с нормативным, указанным в табл. 5.9, и большее из них принимают для дальнейших расчетов.

4. Устанавливают нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик материалов слоев одежды и подстилающего грунта. При этом модуль упругости слоев из асфальтобетона принимают при  $t = +10^\circ\text{C}$  (для всех ДКЗ).

5. Составляют расчетную схему с указанием ориентировочных толщин слоев одежды (рис. 5.2).

6. Приводят многослойную конструкцию к однослойной с модулем упругости  $E_{общ}$ , эквивалентным по сопротивляемости всех слоев конструкции. Для этого с помощью номограммы прил. 5 рис. 1 последовательно, начиная снизу (с подстилающего грунта), вычисляют модули упругости на поверхности каждого слоя  $E_{общ}$ .

7. Проверяют соблюдение условия (5.4). Если это условие соблюдается, принятая конструкция удовлетворяет условию прочности по допускаемому упругому прогибу. При несоблюдении условия (5.4) в конструкцию необходимо внести коррективы: заменить материалы на более прочные, увеличить число слоев или их толщину и т.п.

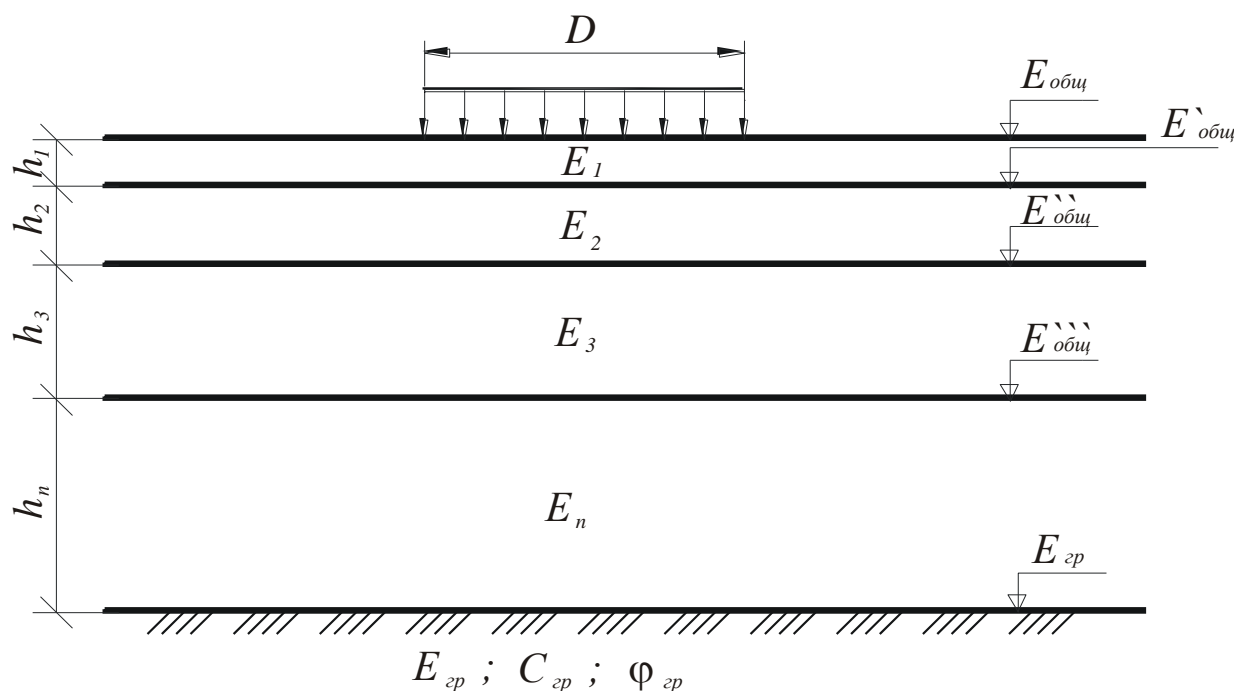


Рис.5.2. Схема для расчета конструкции по допустимому упругому прогибу

### 5.3.3. РАСЧЕТ ПО УСЛОВИЮ СДВИГОУСТОЙЧИВОСТИ ПОДСТИЛАЮЩЕГО ГРУНТА И СЛОЕВ ИЗ МАЛОСВЯЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Дорожную одежду проектируют из расчета, чтобы под действием кратковременных или длительных нагрузок в подстилающем грунте или малосвязных (песчаных) слоях *за весь срок службы* не накапливались недопустимые остаточные деформации формоизменения.

Недопустимые *деформации сдвига* в конструкции не будут накапливаться, если в грунте земляного полотна и в малосвязных слоях обеспечено условие

$$T \leq T_{np} / K_{np}^{mp}, \quad (5.6)$$

где  $T$  – расчетное активное напряжение сдвига (часть сдвигающего напряжения, не погашенная внутренним трением частиц грунта или песка) в расчетной (наиболее опасной) точке конструкции от действующей временной нагрузки, МПа;  $T_{np}$  – предельная (допускаемая) величина активного напряжения сдвига (в той же точке), превышение которой вызывает нарушение прочности на сдвиг, МПа;  $K_{np}^{mp}$  – требуемое минимальное значение прочности по сдвигу, принимается с учетом заданного уровня надежности по табл. 5.5.

При расчете конструкции *на прочность по сдвигоустойчивости грунта земляного полотна* многослойную конструкцию приводят к

двухслойной расчетной модели (рис.5.3). В качестве нижнего слоя принимают рабочий слой земляного полотна, а в качестве верхнего – всю дорожную одежду. Толщину верхнего слоя двухслойной модели  $h_в$  принимают равной сумме всех слоев одежды ( $\sum_{i=1}^n h_i$ ).

При расчете *песчаного* слоя основания толщину верхнего слоя  $h_в$  модели принимают равной общей толщине слоев, лежащих *над* *песчаным*.

Модуль упругости верхнего слоя модели вычисляют по формуле

$$E_в = \left( \sum_{i=1}^n E_i h_i \right) / \left( \sum_{i=1}^n h_i \right), \quad (5.7)$$

где  $n$  – число слоев дорожной одежды в расчетах на сдвиг грунта земляного полотна. При расчете песчаного слоя на сдвигоустойчивость  $n$  в формуле (5.7) означает число слоев, лежащих над песчаным слоем;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя, см;  $E_i$  – модуль упругости  $i$ -го слоя, МПа.

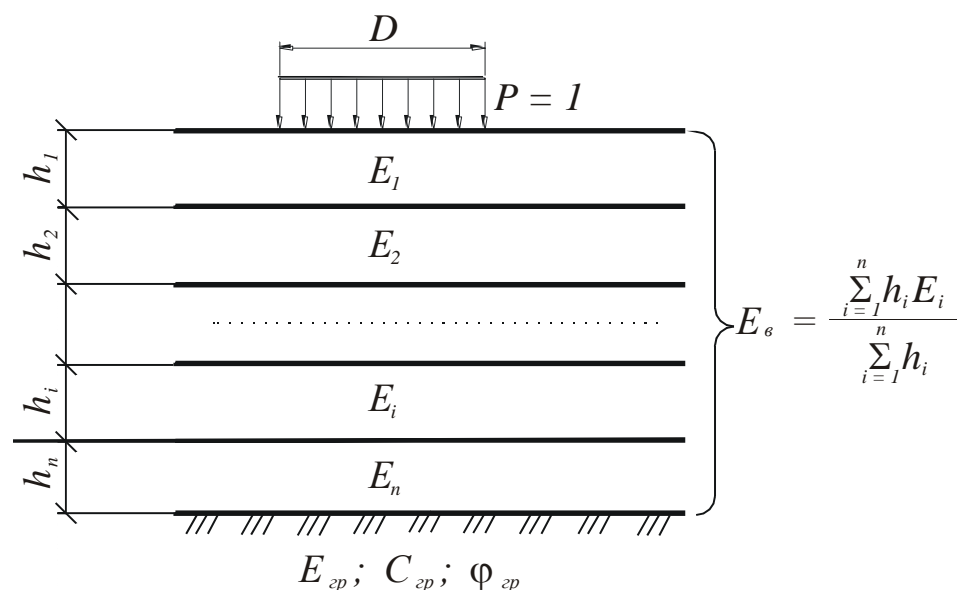


Рис.5.3. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели при расчете грунта земляного полотна на сдвигоустойчивость

Действующее в грунте (или в песчаном слое) расчетное активное напряжение сдвига  $T$  вычисляют по формуле

$$T = \overline{\tau_n} \rho, \quad (5.8)$$

где  $\overline{\tau_n}$  – удельное активное напряжение сдвига от единичной нагрузки, определяемое с помощью номограмм (рис. 2 и 3 прил. 5).  $\rho$  – расчетное давление от колеса на покрытие, МПа (см. табл. 5.6).

Предельное активное напряжение сдвига  $T_{np}$  в грунте рабочего слоя (или в песчаном промежуточном слое) определяют по формуле

$$T_{np} = c_N k_\partial + 0,1 \gamma_{cp} z_{on} \operatorname{tg} \varphi_{cm}, \quad (5.9)$$

где  $c_N$  – сцепление в грунте земляного полотна (или в промежуточном песчаном слое), МПа, принимаемое с учетом суммарного числа приложений нагрузки  $\sum N_p$  (см. табл. 4 прил. 6).  $k_\partial$  – коэффициент, учитывающий особенности работы конструкции на границе песчаного слоя с нижним слоем несущего основания.

При устройстве нижнего слоя из укрепленных материалов, а также при укладке на границе основание – песчаный слой разделяющей прослойки из геотекстиля значение  $k_\partial$  принимают равным:

- 4,5 – при использовании в песчаном слое крупного песка;
- 4,0 – при использовании песка средней крупности;
- 3,0 – при использовании мелкого песка;
- 1,0 – во всех остальных случаях;

$z_{on}$  – глубина расположения поверхности слоя, проверяемого на сдвиг, от верха конструкции, см;  $\gamma_{cp}$  – средневзвешенный удельный вес слоев, расположенных выше проверяемого слоя, кг/см<sup>3</sup>; 0,1 – коэффициент для перевода в МПа;  $\varphi_{cm}$  – расчетная величина угла внутреннего трения материала проверяемого слоя при статическом действии нагрузки (принимается по табл. 2 прил. 6).

#### Последовательность расчета по сопротивлению сдвигу

1. Устанавливают по табл. 2 прил. 7 расчетные значения модулей упругости для слоев из асфальтобетона с учетом максимально возможной температуры в расчетный период (ранний весенний) для заданной ДКЗ.

Дорожно-климатическая зона....	I, II	III	IV	V
Расчетная температура, °С.....	+20	+30	+40	+50

2. По табл. 1 прил. 6 устанавливают  $\bar{W}_{табл}$  – среднюю влажность грунта в зависимости от ДКЗ и типа местности по увлажнению (схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна). Затем определяют расчетную влажность грунта земляного полотна  $W_p$ . Если толщина дорожной одежды (включая дополнительные слои основания)  $z_1 \geq 0,75$  м, то для определения  $W_p$  используется формула

$$W_p = (\bar{W}_{табл} + \Delta_1 \bar{W} - \Delta_2 \bar{W})(1 + 0,1t) - \Delta_3, \quad (5.10)$$

где  $\bar{W}_{табл}$  – среднее многолетнее значение относительной влажности грунта (в долях от границы текучести);  $\Delta_1 \bar{W}$  – поправка на осо-

бенности рельефа территории. Для равнинных районов  $\Delta_1 \bar{W}=0$ ; для предгорных – 0,03; для горных – 0,05;  $\Delta_2 \bar{W}$  – поправка на конструктивные особенности проезжей части и обочин; принимается по табл. 5 прил. 6;  $\Delta_3$  – поправка на влияние суммарной толщины стабильных слоев дорожной одежды, устанавливаемая по графику рис. 6 прил. 5;  $t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от требуемого уровня надежности  $K_n$ :

$K_n$ .....	0,85	0,90	0,95	0,98
$t$ .....	1,06	1,32	1,71	2,19

В зависимости от  $W_p$  и суммарного числа приложений нагрузки  $\Sigma N_p$ , вычисленного по формуле (5.1), находят нормативные значения сдвиговых характеристик грунтов:  $\varphi_{cp}$  – угол внутреннего трения,  $c_{cp}$  – сцепление (табл. 4 прил. 6), модуль упругости  $E_{cp}$  (табл. 3 прил. 6). Если в конструкции предусмотрен дополнительный песчаный слой, сдвиговые характеристики песка определяют по табл. 4 прил. 6.

При суммарной толщине слоев одежды  $z_1 < 0,75$  м расчетную влажность грунта (рабочего слоя земляного полотна) принимают равной табличной среднесуточной ( $W_p = \bar{W}_{табл}$ ), устанавливаемой по табл. 1 прил. 6 в зависимости от ДКЗ (и подзоны) и схемы увлажнения рабочего слоя.

При расчете на сдвигустойчивость *песчаного слоя* нижнему слою двухслойной модели условно присваивают обычные сдвиговые характеристики ( $c_n$  и  $\varphi_n$ ) без учета влажности. Модуль упругости нижнего слоя двухслойной модели  $E_{пес.общ}$  (на поверхности песчаного слоя) определяют пользуясь номограммой рис. 1 прил. 5.

3. Приводят многослойную конструкцию к двухслойной системе (см. рис. 5.3) с толщиной верхнего слоя  $h_g = \sum_{i=1}^n h_i$  и модулем упругости  $E_g$ , вычисленным по формуле (5.7).

4. По номограмме рис. 2 и 3 прил. 5 определяют активное напряжение сдвига  $\tau_n$  от единичной временной нагрузки  $p=1$  и вычисляют расчетное напряжение сдвига в грунте земляного полотна (или в песчаном слое) по формуле (5.8) при расчетном давлении от колеса на покрытие  $p$ , установленном по табл. 5.6.

5. Вычисляют предельное напряжение сдвига для грунта земляного полотна (или песчаного слоя) по формуле (5.9).

6. Проверяют выполнение условия прочности по формуле (5.6). Если прочность конструкции не удовлетворяет требуемой надежности

$K_n$ , подбирают другую конструкцию, соответствующую этому условию, или изменяют толщины конструктивных слоев.

#### 5.3.4. РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ МОНОЛИТНЫХ СЛОЕВ УСТАЛОСТНОМУ РАЗРУШЕНИЮ ОТ РАСТЯЖЕНИЯ ПРИ ИЗГИБЕ

Проверку прочности на сопротивление растяжению при изгибе выполняют только для монолитных слоев одежды: из асфальтобетона, слоев, укрепленных комплексными и минеральными вяжущими, и пр.

Условие, при соблюдении которого не образуются трещины от усталостного разрушения (под воздействием повторных кратковременных нагрузок), имеет вид

$$\delta_r < R_N / K_{np}^{mp}, \quad (5.11)$$

где  $K_{np}^{mp}$  – требуемый коэффициент прочности по критерию растяжения при изгибе, определяемый по табл. 5.5;  $R_N$  – прочность материала слоя на растяжение при изгибе с учетом усталостных явлений, МПа;  $\delta_r$  – наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое.

Чтобы определить значение  $\delta_r$  в монолитном слое, необходимо реальную конструкцию заменить двухслойной моделью (рис. 5.4).

К верхнему слою модели относят *все* асфальтобетонные слои, включая рассчитываемый. Толщину верхнего слоя принимают равной сумме толщин, входящих в пакет асфальтобетонных слоев  $h_6 = \sum h_i$ . Значение модуля упругости верхнего слоя модели  $E_6$  определяют как средневзвешенное для всего пакета асфальтобетонных слоев, включая асфальтобетонные слои основания, по формуле (5.7).

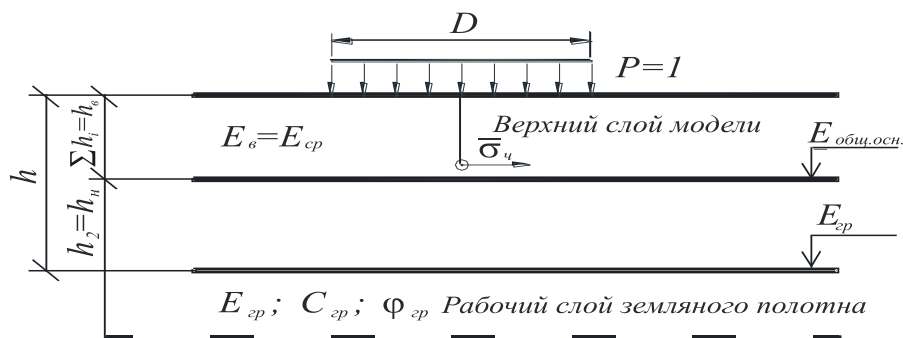


Рис. 5.4. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной модели для расчета на растяжение при изгибе асфальтобетонных слоев



Нижним (полубесконечным) слоем модели служит часть конструкции, расположенная *ниже пакета асфальтобетонных слоев*, включая грунт рабочего слоя земляного полотна. Модуль упругости нижнего слоя модели  $E_{об.осн}$  определяют путем приведения многослойной системы к эквивалентной по сопротивляемости с помощью номограммы рис. 1 прил. 5.

Растягивающее напряжение в рассчитываемом слое определяют по формуле

$$\delta_r = \overline{\delta_r} \rho \kappa_\theta, \quad (5.12)$$

где  $\overline{\delta_r}$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки при расчетном диаметре площадки, передающей нагрузку, МПа; определяется по номограмме рис. 4 прил. 5;  $\kappa_\theta$  – коэффициент, учитывающий особенности напряженного состояния покрытия конструкции под спаренным баллоном; принимается равным 0,85. При расчете на однобаллонное колесо  $\kappa_\theta=1,0$ ;  $\rho$  – расчетное давление, МПа (см. табл. 5.6).

Прочность материала монолитного слоя при многократном растяжении при изгибе определяют по формуле

$$R_N = R_0 k_1 k_2 (1 - V_R t), \quad (5.13)$$

где  $R_0$  – нормативное значение предельного сопротивления растяжению (прочность) при изгибе при расчетной *низкой* весенней температуре при *однократном* приложении нагрузки, принимаемое по табл. 1 прил. 7. В качестве предельного растягивающего напряжения  $R_N$  принимают значение, отвечающее материалу нижнего слоя асфальтобетонного пакета;  $k_1$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности вследствие усталостных явлений при многократном приложении нагрузки; определяется по формуле

$$k_1 = \alpha / \sqrt[m]{\sum N_p}, \quad (5.14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий различия в реальном и лабораторном режимах растяжения повторной нагрузки, а также вероятность совпадения во времени расчетной (низкой) температуры покрытия и расчетного состояния грунта рабочего слоя по влажности; принимается по табл. 1 прил. 7;  $m$  – показатель степени, зависящий от свойств материала рассчитываемого монолитного слоя (табл. 1 прил. 7);  $\sum N_p$  – см. формулу (5.1).

Коэффициент  $k_2$  в формуле (5.13) принимают в зависимости от материала рассчитываемого слоя по табл. 5.10.

$V_R$  – коэффициент вариации в формуле (5.13) рекомендуется принимать равным  $V_R=0,1$ .

Таблица 5.10

Значения коэффициента  $k_2$

Материал расчетного слоя	$k_2$
Асфальтобетон	1,0
Высокоплотный	
Плотный	
I марки	0,95
II марки	0,90
III марки	0,80
Пористый и высокопористый	0,80
Органоминеральные смеси	0,80

$t$  – коэффициент нормированного отклонения, принимаемый в зависимости от уровня надежности (см. формулу (5.10)).

#### *Последовательность расчета на усталостную прочность*

1. Приводят конструкцию к двухслойной модели (см. рис. 5.4):  
– определяют средний модуль упругости материалов верхнего слоя  $E_в$  (пакета слоев из однотипных материалов) по формуле (5.7). Если асфальтобетонное покрытие и несущее основание из прочных каменных материалов (фракционированного щебня, обработанного вязким битумом методом пропитки; щебня, укрепленного по методу пропитки цементно-песчаной смесью, и т.п.), тогда  $E_в=E_1$ ;

– вычисляют общий модуль упругости основания, подстилающего асфальтобетон  $E_{об. осн}$ , используя номограмму рис. 1 прил. 5.

2. Вычисляют отношения:  $h_в/D$  и  $E_в/E_{об.осн}$  и по вычисленным отношениям определяют  $\overline{\delta}_r$  – растягивающее напряжение от единичной нагрузки в нижней точке рассчитываемого монолитного слоя под центром нагруженной площади, где эти напряжения достигают наибольшего значения (см. рис. 5.4). Для определения  $\overline{\delta}_r$  используют номограмму рис. 4 прил. 5.

3. Устанавливают по табл. 1 прил. 7 нормативное сопротивление растяжению при изгибе  $R_0$ . Причем если верхний слой двухслойной конструкции состоит из нескольких слоев (пакет монолитных слоев), то значение  $R_0$  принимают для материала нижнего слоя, где растягивающие напряжения максимальны, а материал менее прочный.

4. Устанавливают значения прочих расчетных параметров, входящих в формулу (5.13), и вычисляют прочность материала всего монолитного слоя (пакета) при многократном растяжении при изгибе  $R_N$ .