МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СССР

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

ВСН 46-72

МИНТРАНССТРОЙ СССР

МОСКВА «ТРАНСПОРТ» 1973

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СССР

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД НЕЖЕСТКОГО ТИПА

ВСН 46-72
МИНТРАНССТРОЙ СССР

Утверждена
Министерством транспортного строительства СССР
10 июля 1972 г.

МОСКВА
«ТРАНСПОРТ» 1973

УДК 625.855:625.72 (083.75)

Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа. ВСН 46-72. Министерство транспортного строительства СССР. Изд-во «Транспорт», 1973, с. 1—112.

Инструкция составлена взамен «Инструкции по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа» (ВСН 46-60, Минтрансстрой СССР).

В Инструкции приводятся указания по проектированию одежд нежесткого типа на автомобильных дорогах общей сети, на улицах и городских дорогах.

Инструкция разработана на основании результатов исследований, проводившихся в последние годы Ленинградским филиалом Союздорнии и кафедрой строительства и эксплуатации дорог Московского автомобильно-дорожного института (МАДИ). Учтены исследования, выполненные Союздорнии и его филиалами, а также Харьковским автомобильно-дорожным институтом (ХАДИ), Киевским автомобильно-дорожным институтом (КАДИ) и Военной ордена Ленина академией тыла и транспорта (ВОЛАТТ).

В Инструкции отражен опыт службы одежд на эксплуатируемых дорогах. Учтена современная практика назначения конструкций дорожных одежд в зарубежных странах.

Инструкцию разработали сотрудники Ленинградского филиала Союздорнии А. М. Кривисский, М. Б. Корсунский, П. И. Теляев, П. Д. Россовский совместно с сотрудниками МАДИ Н. Н. Ивановым, Н. А. Пузаковым, А. Я. Тулаевым, Ю. М. Яковлевым.

Ленинградским филиалом разработан расчет дорожных одежд по предельному равновесию при сдвиге и растяжению монолитных слоев при изгибе, а МАДИ — по величине упругого прогиба. Расчет конструкций на осушение и морозоустойчивость разработан совместно Ленинградским филиалом Союздорнии и МАДИ. МАДИ принимал участие в разработке метода расчета покрытия на изгиб. Рис. 78, табл. 31, библ. 6.

И $\frac{3181\text{-}336}{049(01)\text{-}73}$ БЗ-34-4-73

© Минтрансстрой СССР, 1974 г.

Министерство транспортного строительства СССР	Ведомственные строительные нормы «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа»	ВСН 46-72 Минтрансстрой СССР Взамен «Инструкции по назначению конструкций дорожных одежд нежесткого типа» ВСН 46-60

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Инструкция содержит указания по конструированию и расчету нежестких одежд автомобильных дорог общей сети СССР, улиц и городских дорог. Она может быть использована также при проектировании промышленных и других специальных автомобильных дорог. Инструкцию применяют:

при проектировании одежд на вновь сооружаемых и реконструируемых дорогах и улицах;

при оценке прочности и проектировании усиления одежд существующих дорог и улиц;

при определении необходимости ограничения движения на эксплуатируемых дорогах и улицах в неблагоприятные периоды года, а также возможности пропуска особо тяжелых нагрузок.

1.2. Нежесткие дорожные одежды в отличие от одежд с цементобетонными покрытиями и основаниями сооружают из слабосвязных зернистых материалов, из смесей с органическими вяжущими, а также из материалов, укрепленных добавками цемента, извести и других вяжущих.

1.3. В нежесткой дорожной одежде различают следующие конструктивные слои.

Покрытие — верхний слой дорожной одежды, непосредственно воспринимающий усилия от колес автомобилей и подвергающийся воздействию атмосферных факторов. Покрытие должно быть прочным, противостоять пластическим деформациям и хорошо сопротивляться износу; поверхность покрытия должна быть ровной и шероховатой. В населенных местах, а также в курортных районах к покрытию, кроме того, предъявляют требования в отношении беспыльности, легкости очистки и предельного снижения шума. Покрытие состоит из слоя износа, периодически возобновляемого в процессе эксплуатации, и основного слоя.

Внесена Государственным всесоюзным дорожным научно-исследовательским институтом (Союздорнии) и Московским автомобильно-дорожным институтом (МАДИ)	Утверждена заместителем министра транспортного строительства СССР	Срок введения 1 января 1974 г

Основание — несущая часть дорожной одежды, обеспечивающая совместно с покрытием передачу усилий на грунт земляного полотна. Основание может состоять из нескольких слоев, причем верхние слои, непосредственно подстилающие покрытие, устраивают из более прочных материалов. В состав основания в ряде случаев входят дополнительные слои из песка и других местных материалов в естественном состоянии или укрепленных органическими и неорганическими вяжущими. Дополнительные слои выполняют одновременно функции дренирующих, морозозащитных, противозаиливающих и других специальных конструктивных слоев. В отдельных случаях вся одежда может состоять из одного слоя, например простейшие конструкции — из гравийных и других подобных материалов.

Дорожную одежду укладывают на уплотненное и спланированное земляное полотно, отвечающее требованиям СНиПа.

Условия службы дорожной одежды под действием движения и природных факторов определяются в большой степени прочностью грунта земляного полотна. Поэтому дорожную одежду и земляное полотно, особенно в сложных грунто-гидрогеологических условиях, следует проектировать совместно как единое целое.

Дорожная одежда и земляное полотно составляют дорожную конструкцию.

1.4. В зависимости от значения дороги или улицы, эксплуатационных требований и типа сооружаемого покрытия при проектировании дорожной одежды руководствуются следующими основными принципами.

Одежды с капитальными покрытиями проектируют с таким расчетом, чтобы на них не возникали остаточные деформации под действием движения. Только в том случае, если дорожная конструкция работает в стадии обратимых (упругих) деформаций, может быть гарантировано сохранение высоких эксплуатационных качеств, обеспечивающих возможность движения с большими скоростями в течение длительного периода между ремонтами.

Дорожные одежды с усовершенствованными облегченными покрытиями, эксплуатационные требования к которым достаточно высоки, рассчитывают также на работу без накопления остаточных деформаций, но, учитывая более короткие сроки между ремонтами, для этих одежд принимают меньшие запасы прочности, чтобы облегчить конструкцию (п. 3.21).

Одежды с покрытиями переходного типа, периодическое выравнивание поверхности которых не сопряжено со значительными затратами (гравийные и подобные им покрытия), следует проектировать, допуская некоторое накопление остаточных деформаций под действием движения.

1.5. Кроме обеспечения надлежащей прочности, дорожные конструкции в районах с влажным и холодным климатом должны быть рассчитаны также на осушение и морозоустойчивость с тем, чтобы гарантировать необходимую их долговечность (раздел 4).

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

2.1. При конструировании дорожной одежды необходимо руководствоваться следующими основными положениями:

а) учесть требования, предъявляемые к дороге или улице соответствующей категории, и ожидаемое в перспективе движение; установить целесообразность стадийного повышения эксплуатационных качеств; в необходимых случаях разрабатывают несколько вариантов конструкции и выбирают наиболее рациональный в данных условиях;

б) с учетом обеспеченности ресурсами установить количество слоев одежды, выбрать материалы для них и предварительно назначить толщины слоев, затем в процессе расчета толщины слоев уточняют;

в) конструкцию одежды разрабатывают для каждого участка или ряда участков дороги, характеризующихся близкими природными условиями (микроклимат, грунты, увлажнение), одинаковыми расчетными нагрузками, а также в равной степени обеспеченными строительными материалами;

г) широко использовать в соответствующих элементах конструкции местные материалы в необходимых случаях с предварительной переработкой или укреплением их. В районах, слабо обеспеченных прочными строительными материалами, нужно оценить целесообразность использования укрепленных органическими и неорганическими вяжущими имеющихся слабых материалов, а также грунтов;

д) предусмотреть максимальную механизацию и индустриализацию строительных процессов;

е) разрабатывая конструкцию дорожной одежды, следует максимально использовать опыт службы дорог в районе проектирования.

2.2. В процессе конструирования дорожной одежды и земляного полотна определяют: из каких грунтов — местных или привозных — целесообразно сооружать земляное полотно на отдельных участках; какие меры следует предусмотреть для обеспечения морозоустойчивости дорожной конструкции и предохранения ее от избыточного увлажнения — повысить отметку основания одежды, понизить уровень грунтовых вод, ввести морозозащитные, дренирующие или изолирующие слои. С учетом того, насколько эффективны отдельные мероприятия в имеющихся условиях, выбирают наиболее целесообразное решение.

2.3. Тип покрытия назначают в соответствии с транспортно-эксплуатационными требованиями, категорией и значением дороги или улицы, составом и интенсивностью ожидаемого движения, климатическими условиями, обеспеченностью строительными материалами и техникой. Тип покрытия обосновывают технико-экономическими расчетами.

На дорогах высших категорий и магистральных улицах, как правило, устраивают капитальные покрытия — асфальтобетонные из обработанного в смесителе вязким битумом прочного щебня.

На дорогах III—IV категорий и улицах с интенсивностью движения приблизительно до 1500 авт./сутки сооружают преимущественно усовершенствованные облегченные покрытия из обработанных органическими вяжущими щебеночных и гравийных материалов.

Покрытия переходного типа из необработанных щебеночных, гравийных и других местных материалов проектируют лишь на дорогах низших категорий при легком движении, рассматривая эти покрытия как первый этап дальнейшего совершенствования проезжей части дороги или улицы.

2.4. Толщину покрытий усовершенствованного типа, сооружаемых из сравнительно дорогих материалов, следует назначать по возможности близкой к минимальной конструктивной.

При этом нужно учитывать особенности работы покрытий на разных основаниях. Однослойные асфальтобетонные покрытия удовлетворительно работают только на прочных основаниях из материалов, обработанных вязкими битумами или дегтями. В остальных случаях следует проектировать двухслойные асфальтобетонные покрытия. На дорогах с интенсивным тяжелым движением общая толщина слоев из материалов, обработанных вяжущими (асфальтобетонное покрытие и верхний слой основания), не должна быть меньше 12 *см*.

2.5. Асфальтобетонные покрытия на основаниях из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими (цемент и др.), во избежание образования на покрытии большого количества трещин не следует сооружать тоньше 12—15 *см*. Причем нижний слой покрытия должен быть устроен из более деформативно способного материала, например, черного щебня.

Толщину покрытия обосновывают расчетом исходя из необходимости обеспечить нормальную работу материала в верхнем слое основания, а монолитные покрытия (асфальтобетонные и подобные им) — также с учетом величины допускаемых растягивающих напряжений при изгибе в материале самого покрытия.

2.6. Все нижележащие слои одежд с усовершенствованными покрытиями размещают в конструкции таким образом, чтобы под действием расчетных нагрузок не возникали деформации сдвига в зернистых и слабосвязных материалах (гравийных, песчаных и подобных им, в смесях с жидкими битумами), а в монолитных слоях основания, из материалов, укрепленных неорганическими и вязкими органическими вяжущими (цементом, битумом и др.), растягивающие напряжения при изгибе не превышали бы допускаемых.

В результате расчета устанавливают толщину каждого конструктивного слоя.

Общую толщину дорожной одежды назначают исходя из условия, чтобы не возникали пластические смещения в подстилающем

грунте и упругий прогиб поверхности покрытия не превышал предельно допускаемой величины.

2.7. Верхние слои основания, в которых возникают значительные напряжения от временных нагрузок, устраивают из материалов, обладающих достаточной прочностью при всех возможных значениях влажности и температуры. Должно быть обеспечено также хорошее сцепление покрытия с основанием.

Для устройства верхних слоев основания используют: уплотняемый по принципу заклинки фракционированный щебень, обработанный (при очень тяжелом движении) вязким битумом или дегтем; подобранные щебеночные или гравийные (с добавками дробленого материала) смеси, обработанные вязким битумом или дегтем, а также щебеночные и гравийные материалы, укрепленные добавками неорганических вяжущих.

Запрещается укладывать в верхние слои основания материалы, прочность которых существенно снижается при возможных влажностях и температурах, например смеси, содержащие значительное количество пылевато-глинистых частиц, несвязные в сухом состоянии материалы, обработанные жидким битумом смеси, не содержащие скелетной фракции (песчано-глинистые) и т. п.

В районах с влажным и холодным климатом материалы должны быть морозостойкими.

Многие материалы, укладываемые в верхний слой основания, такие, как фракционированный щебень, достаточно широко опробованы, поэтому нет необходимости рассчитывать их на прочность (сопротивление сдвигу).

Однако слои из гравийных и подобных им материалов, укрепленных или неукрепленных вяжущими, рассчитывают на прочность (сопротивление сдвигу или растяжению при изгибе — для монолитных материалов), чтобы решить вопрос о пригодности данного материала для устройства верхнего слоя основания при принятой толщине покрытия или о целесообразности утолщения покрытия, либо о замене материала основания более прочным.

2.8. Нижний слой основания обычно устраивают целиком из местных материалов с необходимой их переработкой (сортировкой, дроблением), а в некоторых случаях укреплением малыми дозами вяжущих. Широко используют также укрепленные органическими и неорганическими вяжущими грунты. При выборе материала для нижнего слоя основания решающими являются учет стоимости и значений расчетных характеристик материала.

В районах с влажным климатом следует устраивать нижний слой основания из фильтрующих материалов, способствующих более быстрому осушению конструкции. В сухих районах, где основной источник увлажнения — конденсация парообразной влаги, целесообразнее в нижний слой основания укладывать слабопаро-, водопроницаемые материалы.

Если в дорожной конструкции предусматривается устройство дренирующих или морозозащитных слоев (раздел 4), конструк-

цию основания назначают одновременно с проектированием этих слоев.

2.9. В сухих местах IV и V дорожно-климатических зон эффективно повышенное уплотнение связных грунтов верхней части земляного полотна (на глубину до 30—50 *см* от низа дорожной одежды). При плотности 1,01—1,03 от максимально стандартной грунт в этих условиях практически не увлажняется. Уплотнение производят тонкими слоями при помощи катков на пневматических шинах при влажности грунта 0,5—0,6 от нижней границы текучести. Нижний слой одежды в этом случае устраивают из паронепроницаемых материалов, например из укрепленного вяжущими связного грунта.

Грунт повышенной плотности рассматривается как самостоятельный конструктивный слой с расчетными характеристиками, более высокими (примерно на 50%) по сравнению с нормируемыми для данных условий.

2.10. Минимально допустимые конструктивные толщины слоев дорожной одежды, при которых обеспечивается надлежащее формирование и нормальная работа слоя в эксплуатации, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Материалы	Толщина, *см*
Асфальтобетон, укладываемый в горячем или теплом состоянии:	
однослойный	5
двухслойный	7
Холодный мелкозернистый асфальто- или дегтебетон	3
Щебеночные (гравийные) материалы и грунты, обработанные органическими вяжущими в установке	8
Щебень, обработаный по способу пропитки	8
То же, по способу полупропитки	4
Щебеночные (гравийные) материалы, обработанные органическими вяжущими по способу смешения на дороге	8
Щебеночные (гравийные) материалы, укрепленные цементом, на каменном основании или на грунте, укрепленном вяжущими	8
Грунты и малопрочные каменные материалы, обработанные органическими или неорганическими вяжущими	10
Щебеночные (гравийные) материалы, не обработанные вяжущими:	
на песчаном основании	15
» прочном основании (каменном или из укрепленного грунта):	
для щебня	8
» гравийного материала	10

Примечание. Толщина слоя должна превышать размер наиболее крупных частиц каменного материала не менее чем в 1,5 раза (кроме слоев, устраиваемых по способу пропитки).

2.11. При конструировании одежды нужно стремиться обеспечить более плавный переход от жестких верхних слоев к нижним

слоям меньшей жесткости, чтобы улучшить напряженное состояние на контактах. Отношение модулей упругости смежных слоев из слабосвязных материалов не должно превышать 5—6.

2.12. Введение в дорожную конструкцию слоев из укрепленных различными способами материалов и грунта является исключительно прогрессивным мероприятием. Укрепление добавками вяжущих существенно повышает жесткость (модули упругости), прочностные характеристики и долговечность материалов. Оказывается возможным полноценно использовать слабые, непригодные в естественном состоянии материалы. Все это позволяет значительно снизить затраты на сооружение дорожной одежды, особенно в районах, бедных каменными материалами. Опыт показывает, что укрепленные вяжущими материалы и грунты успешно работают в самых различных природных условиях и в любых элементах дорожной конструкции, нуждаясь лишь в защите от непосредственного воздействия колес автомобилей (особенно материалы, укрепленные вяжущими неорганического происхождения). Но обязательным требованием является обеспечение в имеющихся условиях водо- и морозостойкости укрепленного материала. Исходя из этого требования устанавливают минимальное количество вяжущего для укрепления. Не следует стремиться увеличивать содержание вяжущего по сравнению с минимально необходимым его количеством. Увеличение количества органического вяжущего сверх минимально необходимого приводит обычно к снижению прочности материала, а в укрепленных цементом материалах создает излишнюю жесткость, способствующую образованию большего количества трещин.

Способ укрепления материала или грунта выбирают с учетом наличия тех или иных вяжущих, специальных машин, погодных условий и др.

На дорогах высших категорий следует применять смеси, приготовленные в установках, что гарантирует более тщательную дозировку и равномерное перемешивание.

2.13. Если крупнопористый материал (щебень и т. п.) укладывают на глинистый, суглинистый или пылеватый грунт, должна быть предусмотрена изолирующая прослойка, препятствующая взаимопрониканию пористого материала и увлажненного грунта. Прослойку следует устраивать из песка или других материалов, не переходящих в пластичное состояние при увлажнении.

Толщину прослойки назначают по конструктивным соображениям, но не менее 5 *см*.

2.14. На дорогах и улицах с покрытиями усовершенствованного типа края одежды следует укреплять, чтобы предохранить их от разрушения и воспрепятствовать поступлению воды с поверхности в основание. Укрепляют края одежды путем установки бортовых камней, возвышающихся над проезжей частью (в городских условиях), либо заподлицо с ней. Можно укреплять края путем ступенчатого уширения каждого нижележащего конструктивного слоя одежды.

2.15. Обочины на дорогах укрепляют в соответствии с указаниями СНиПа. Конструкцию укрепления обочин рассчитывают на единичное воздействие колеса автомобиля без запаса на динамичность и повторяемость нагрузок.

Одежду на местах стоянок и остановочных полосах рассчитывают как и одежду проезжей части.

3. РАСЧЕТ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ

3.1. Дорожные одежды рассчитывают на пропуск наиболее тяжелых автомобилей или других транспортных средств, систематическое обращение которых предусматривается на дороге в расчетный период за время до очередного капитального ремонта дорожной одежды.

3.2. При проектировании дорог общей сети, к которым не предъявляют особые требования, за расчетные принимают статические нагрузки, нормированные ГОСТ 9314—59 на весовые параметры и габариты автомобилей и автопоездов (приложение 1, табл. 1). При проектировании одежды городских улиц и площадей принимают расчетные нагрузки, приведенные в табл. 2, приложения 1.

Дороги, к которым предъявляют особые требования (промышленные и другие специальные дороги), рассчитывают на нагрузки, ожидаемые на этих дорогах.

Расчетные параметры основных марок автомобилей и троллейбусов приведены в табл. 3, приложения 1.

3.3. Одежды автомобильных дорог и городских улиц рассчитывают на движение, которое ожидается к концу срока до очередного капитального ремонта. Этот срок при расчете движения принимают: для дорог с покрытием капитального типа — 15 лет, с усовершенствованным облегченным — 10 лет, с переходным — 8 лет.

3.4. Интенсивность движения выражают количеством автомобилей, проходящих в сутки по одной наиболее загруженной полосе.

Расчетную интенсивность определяют по перспективному составу движения, приводя более легкие автомобили к расчетному автомобилю путем умножения количества двухосных автомобилей с той или иной нагрузкой на заднюю ось на соответствующие коэффициенты, определяемые по табл. 4 приложения 1.

При вычислении приведенной интенсивности движения трехосные автомобили принимают за два автомобиля с соответствующими нагрузками на ось; автопоезда — за столько автомобилей, сколько осей в поезде.

Для однополосной проезжей части за расчетную принимают приведенную суммарную интенсивность движения в обоих направлениях; для двух- и трехполосной (без разделительной полосы) — 0,7 от суммарной в обоих направлениях.

При четырехполосной проезжей части с разделительной полосой (по две полосы движения в каждом направлении) принимают за расчетную 0,35 от суммарной интенсивности в обоих направлениях, но не более пропускной способности одной полосы.

При числе полос в каждом направлении более двух нужно вести расчет с учетом концентрации грузового движения на двух

крайних справа по ходу движения полосах. При этом каждую из этих полос следует рассчитывать на движение не ниже 0,35 от суммарной приведенной интенсивности в обоих направлениях (но не более пропускной способности полосы).

Остальные полосы также проектируют на нагрузку по группе А, но при расчетной интенсивности, устанавливаемой с учетом ожидаемого в перспективе движения на этих полосах.

3.5. Если по отдельным полосам проезжей части осуществляется строго специализированное движение (например, троллейбусное), можно использовать для отдельных полос различные расчетные нагрузки.

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

3.6. Исследования, проводившиеся в Советском Союзе и за рубежом, показали, что дорожные одежды нежесткого типа, работающие под действием временных нагрузок в стадии обратимых деформаций, можно рассматривать как линейно-деформируемые системы, и для оценки их напряженного состояния допустимо использовать решения теории упругости.

Современные теоретические решения позволяют рассчитать все компоненты напряжений и перемещений в любой точке слоистого полупространства под действием осесимметричной нагрузки на поверхности (p, D). Каждый слой характеризуется модулем упругости E_i, коэффициентом Пуассона μ_i и толщиной h_i (рис. 1). Подстилающий слой не ограничен в вертикальном направлении.

Напряжения и перемещения могут быть вычислены как при совместной работе слоев, так и при свободном смещении их на контакте.

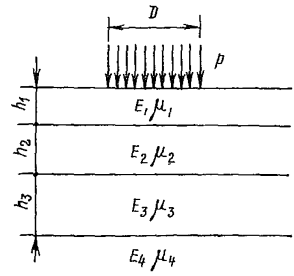


Рис. 1. Расчетная схема дорожной конструкции

3.7. Для обеспечения работы дорожной одежды без накопления остаточных деформаций необходимо, чтобы ни в одном из конструктивных слоев и в подстилающем грунте не возникали пластические смещения, не нарушалась сплошность монолитных слоев и прогиб поверхности одежды под расчетной нагрузкой не превосходил допускаемой величины.

Пластические смещения в грунте и слабосвязных материалах не возникнут, если не будет превзойдено предельное равновесие по сдвигу.

Сохранение структуры монолитных слоев гарантируется, если растягивающие напряжения при изгибе не превысят допустимых для данного материала.

Нормирование максимального прогиба, ограничивая развитие усталостных явлений и расшатывание структуры материалов кон-

структивных слоев, дополнительно повышает надежность проектных решений.

3.8. Расчеты по всем трем критериям — сдвигу, растяжению при изгибе и упругому прогибу для одежд с усовершенствованными покрытиями обязательны; коэффициенты прочности (отношение допускаемого напряжения или прогиба к устанавливаемому расчетом) по каждому критерию должны быть равны или больше 1.

Проектируемая конструкция не зависит от последовательности расчета по отдельным критериям, поэтому порядок расчета может быть любой. Однако методически целесообразно сначала назначать конструкцию по упругому прогибу, а затем рассчитывать по предельному равновесию при сдвиге и растяжению при изгибе.

При проектировании усиления одежды на эксплуатируемых дорогах, когда имеются надежные данные о фактической величине прогибов существующей конструкции под действием расчетной нагрузки в наиболее неблагоприятный период, расчет усиления ведут по упругому прогибу. По сопротивлению сдвигу и растяжению при изгибе рассчитывают в этом случае только слои усиления.

При проектировании одежд на дорогах с очень тяжелым движением (нагрузка на ось более 12 *Т* — промышленные и другие специальные дороги) расчет ведут по сдвигу в грунте и слабосвязных материалах, а также по сопротивлению растяжению при изгибе в монолитных слоях. По величине упругого прогиба дорожную одежду в этом случае не рассчитывают.

Одежды с покрытием переходного типа рассчитывают по величине упругого прогиба без расчета по остальным критериям.

Расчет дорожных одежд по допускаемому упругому прогибу

3.9. В качестве критерия принимают величину вертикальной деформации (прогиба) дорожной одежды в неблагоприятный по степени увлажнения период года под нагрузкой от расчетного автомобиля. По вертикальной деформации вычисляют требуемый модуль упругости конструкции:

$$E_{тр} = \frac{p D (1 - \mu^2)}{l}, \qquad (1)$$

где p — удельное давление от расчетного автомобиля, *кГ/см²*;

D — диаметр круга, равновеликого площади контакта сдвоенного колеса расчетного автомобиля, *см*;

l — нормативный прогиб дорожной одежды, *см*;

μ — коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3.

3.10. Требуемый модуль упругости может быть определен по номограммам на рис. 2 и 3, построенным на основании статистической обработки результатов экспериментальных исследований.

На номограммах приведены требуемые модули упругости одежд с покрытиями трех типов — капитальных, усовершенство-

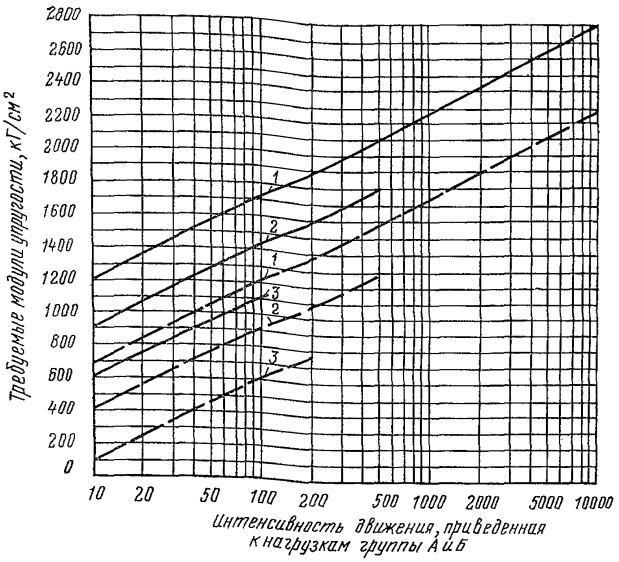


Рис. 2. Требуемые модули упругости при нагрузках по ГОСТ 9314—59:
1 — усовершенствованные капитальные покрытия; *2* — усовершенствованные облегченные; *3* — переходные
——— для нагрузки группы А; — — — — — для нагрузки группы Б

ванных облегченных, переходных—при расчетных нагрузках групп А и Б (дороги общей сети), а также Н-30 и Н-10 (городские дороги). На вертикальных осях указаны требуемые модули упругости $E_{тр}$. По горизонтальной оси показана расчетная интенсивность движения на одну полосу в последний год службы покрытия.

3.11. При расчете на движение автобусов с нагрузкой на ось 11 500 *кГ* (группа А) или 7000 *кГ* (группа Б) требуемые модули, определенные для соответствующих групп по номограмме (см. рис. 2), должны быть повышены на 10%.

Для условий Средней Азии величина требуемого модуля упругости должна быть понижена на 15%.

3.12. Независимо от данных, полученных по номограммам (см. рис. 2 и 3), требуемые модули упругости следует назначать не ниже, чем указано в табл. 2 для дорог общей сети, и в табл. 3 для городских дорог.

3.13. По требуемому модулю упругости всей конструкции выполняют послойный расчет, используя номограмму на рис. 4. Эта номограмма, составленная на основании решения задачи теории упругости для двухслойного полупространства, связывает значения модулей упругости верхнего и нижнего слоев E_1 и E_2, относительную толщину верхнего слоя h/D и величину общего модуля

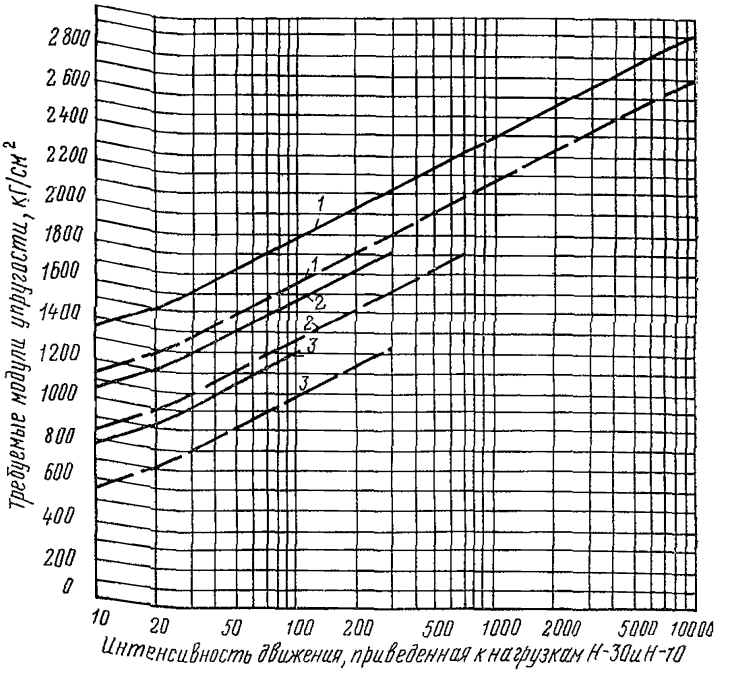


Рис. 3. Требуемые модули упругости:
——— при нагрузках H=30; — — — — при нагрузках H=10:
1 — усовершенствованные капитальные покрытия; *2* — усовершенствованные облегченные; *3* — переходные

Таблица 2

Категория дороги	Количество расчетных автомобилей в сутки на одну полосу		Покрытие		
	Группа А	Группа Б	Капитальное	Усовершенствованное облегченное	Переходного типа
			Модуль упругости, кГ/см²		
I	500	—	2100	—	—
II	150	—	1850	1500	—
III	70	700	1650	1350	—
IV	—	250	1500	1150	850
V	—	100	—	900	650

упругости на поверхности двухслойной системы $E_{общ}$. Зная четыре из указанных величин, можно найти любую пятую.

Например, для получения $E_{общ}$ на номограмме рис. 4 проводят две прямые: вертикальную — из точки на горизонтальной оси, соответствующей имеющемуся отношению h/D, и горизонтальную — из точки на вертикальной оси, соответствующей отношению E_2/E_1, в точке пересечения прямых читают отношение $E_{общ}/E_1$, откуда, зная E_1, находят $E_{общ}$.

В зависимости от поставленной задачи расчет конструкции можно вести сверху вниз, когда задан общий (требуемый) модуль

Таблица 3

Категория дороги	Количество расчетных автомобилей на одну полосу		Покрытие		
	нагрузка Н-30	нагрузка Н-10	капитальное	усовершенствованное облегченное	переходного типа
			Модуль упругости, $кГ/см^2$		
Скоростные дороги и магистральные улицы общегородского значения	550	—	2250	—	—
Магистральные улицы районного значения	70	200	1800	1500	—
Жилые улицы	—	30	1400	1100	800
Дороги промышленных и складских районов	70	200	1800	1500	1200
Проезды	—	10	1150	850	550

упругости и определяют толщину нижнего слоя основания и модуль упругости грунта, или рассчитывать снизу вверх, когда определяют общий модуль имеющейся конструкции.

3.14. Толщины верхних слоев из материалов, содержащих органические вяжущие, рекомендуется предварительно назначать:

При $E_{тр}>2000$ $кГ/см^2$ . . . . . от 12 до 15 *см*
» $E_{тр}=1800—2000$ $кГ/см^2$ . . . . » 10 » 12 »
» $E_{тр}=1600—1800$ $кГ/см^2$ . . . . » 8 » 10 »
» $E_{тр}=1400—1600$ $кГ/см^2$ . . . . » 6 » 8 » и ниже

3.15. Расчет по допустимому упругому прогибу (требуемому модулю упругости) выполняют в следующем порядке:

а) исходя из перспективного движения на полосу назначают по рис. 2 и 3 величину $E_{тр}$;

б) в соответствии с п. 3.14 назначают толщину верхних слоев из материалов, обработанных органическими вяжущими;

в) по номограмме рис. 4 либо с помощью номограмм (рис. 1—32 приложения 10) определяют необходимый модуль упругости на поверхности основания. По величине модуля упругости на поверхности основания и модуля упругости грунта земляного полотна определяют толщину основания одежды, пользуясь той же номограммой на рис. 4. Численные значения модулей упругости грунта земляного полотна и материалов конструктивных слоев даны в приложениях 2 и 3. Обычно возможно несколько вариантов конструкции основания, которые сравнивают экономически;

г) если по экономическим, конструктивным или другим соображениям целесообразно устроить основание из нескольких слоев различных материалов, рекомендуется такая последовательность расчетов:

по конструктивным соображениям или с учетом требований в части осушения конструкции назначают толщину нижнего слоя основания;

пользуясь номограммой на рис. 4, определяют модуль упругости на поверхности нижнего слоя основания;

зная определенный ранее модуль упругости на поверхности верхнего слоя основания, модуль на поверхности нижнего слоя и модуль упругости материала верхнего слоя, с помощью номограммы на рис. 4 вычисляют толщину указанного слоя.

Расчет дорожных одежд по сдвигу в подстилающем грунте и слабосвязных материалах конструктивных слоев

Определение общей толщины одежды по сопротивлению сдвигу в подстилающем грунте

3.16. Общую толщину одежды назначают исходя из условия, чтобы не возникали остаточные деформации, вызванные пластическими смещениями в подстилающем грунте.

Условие предельного равновесия в наиболее напряженной точке подстилающего одежду грунтового массива под центром осесимметричной нагрузки выражается зависимостью

$$\frac{1}{2\cos\varphi}\left[(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3)\sin\varphi\right] = c, \qquad (2)$$

где σ_1 — максимальное главное напряжение;

σ_3 — минимальное главное напряжение (в данном случае $\sigma_3 = \sigma_2$);

φ — угол внутреннего трения;

c — сцепление в грунте.

Левая часть уравнения (2) представляет собой наибольшее в данной точке свободное (за вычетом удерживающих сил, обусловленных внутренним трением) сдвигающее напряжение, которое можно назвать активным напряжением сдвига от нагрузки $\tau_{а.м}$.

3.17. При определении толщины одежды, удовлетворяющей указанному выше требованию, предварительно намеченную или рассчитанную по допустимому упругому прогибу многослойную конструкцию приводят к двухслойной системе, у которой толщина верхнего слоя равна суммарной толщине конструктивных слоев многослойной одежды (рис. 5), а модуль упругости этого слоя вычислен по формуле

$$E_{ср} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_3 h_3 + \cdots}{h_1 + h_2 + h_3 + \cdots}, \qquad (3)$$

где E_1, E_2, ... — расчетные модули упругости отдельных конструктивных слоев, толщина которых равна h_1, h_2 ...

3.18. Условие, при котором не образуются пластические деформации в подстилающем одежду грунте, выражается неравенством

$$\tau_{а.м} + \tau_{а.в} \leqslant K' c, \qquad (4)$$

где $\tau_{а.м}$ — максимальное активное напряжение сдвига в нижнем слое двухслойной системы от расчетной временной нагрузки;

$\tau_{а.в}$ — активное напряжение сдвига от собственного веса одежды;

c — сцепление в подстилающем грунте в расчетный период, полученное при медленном сдвиге (нормативное сцепление);

K' — комплексный коэффициент, учитывающий особенности конструкции и условия работы дорожной одежды (п. 3.21).

3.19. Максимальное активное напряжение сдвига $\tau_{а.м}$ в нижнем слое двухслойной системы от временной нагрузки находят, используя левую часть уравнения (2). Значения главных напряжений σ_1 и σ_3 в наиболее напряженной точке вычисляют на основании теории упругости для слоистого полупространства. Эти вычисления очень трудоемки, поэтому для практических расчетов построены с помощью вычислительных машин номограммы (рис. 6 и 7). Номограммы связывают относительную толщину одежды h/D (верхняя горизонтальная ось), отношение модулей упругости верхнего и нижнего слоев E_1/E_2 (кривые на номограммах), величину угла внутреннего трения в подстилающем грунте φ (лучи на номограммах) и значение максимального удельного активного напряжения сдвига в нижнем слое $\tau_{а.м}/p$ (нижняя горизонтальная ось). Порядок определения $\tau_{а.м}/p$ показан на номограммах стрелками.

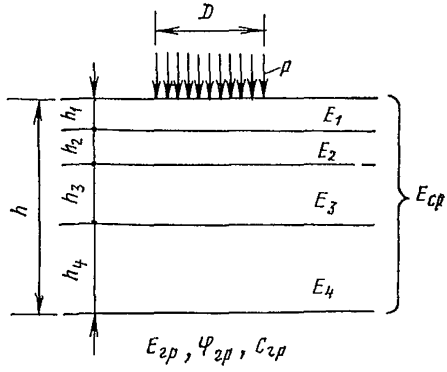


Рис. 5. Схема приведения многослойной конструкции к двухслойной

Номограммы построены при значениях коэффициентов Пуассона для материалов верхнего и подстилающего слоев соответственно $\mu_1=0{,}25$ и $\mu_2=0{,}35$. Эти значения характерны для распространенных конструкций дорожных одежд, работающих в стадии обратимых деформаций. Возможные отклонения от принятых значений μ мало влияют на результаты расчета.

Номограммы позволяют с достаточной точностью решать все встречающиеся в практике проектирования задачи.

Номограмма на рис. 6 построена для случая совместной работы слоев в плоскости контакта, на рис. 7 — при свободном смещении слоев на контакте.

Напряжения в реальных конструкциях имеют промежуточные между двумя крайними случаями значения. Если одежду подстилают связные грунты — суглинистые, супесчаные (кроме крупных), фактические напряжения ближе к вычисленным при совместном смещении слоев (более невыгодный случай), а при слабосвязных — песчаных и подобных им грунтах — напряжения ближе

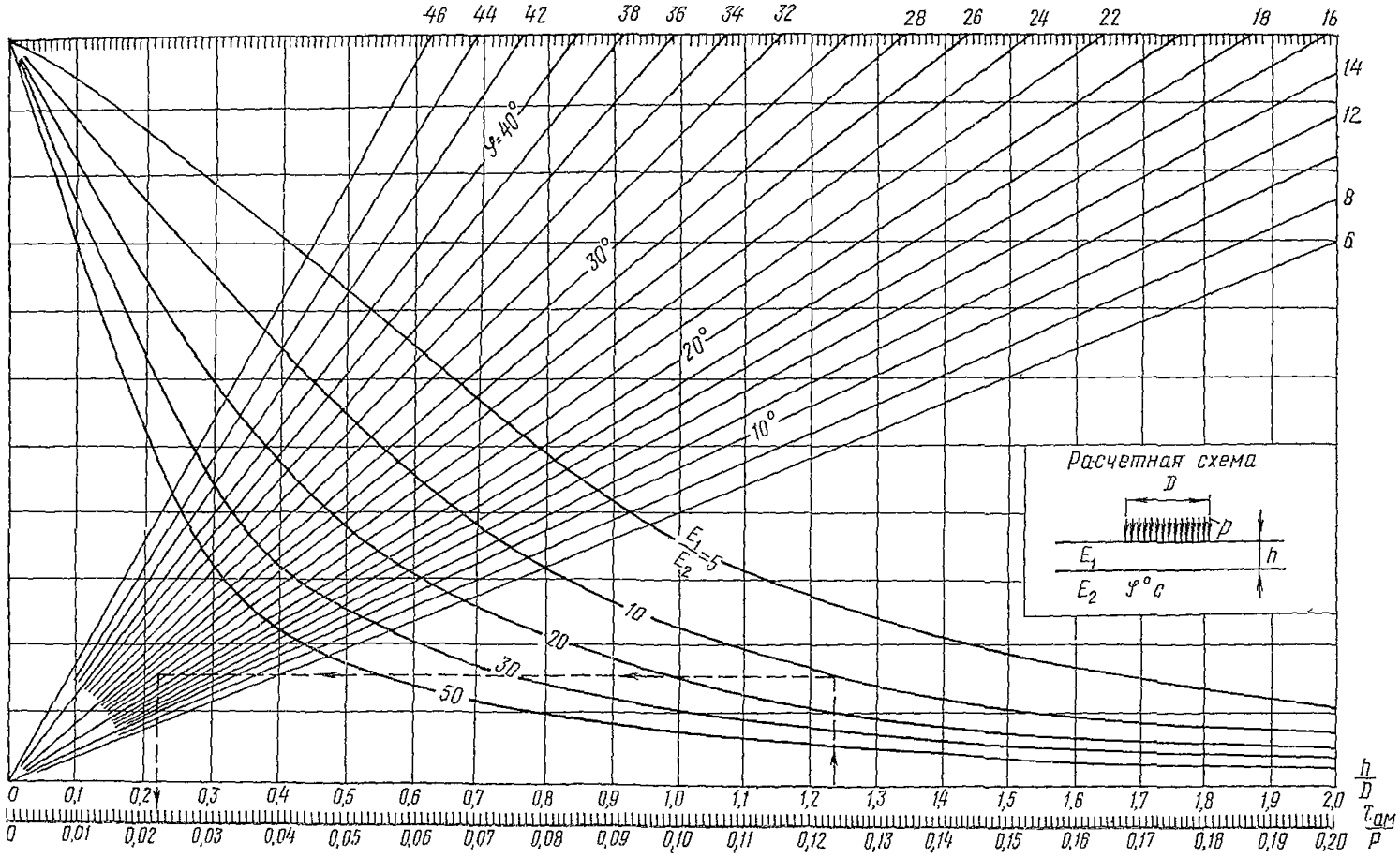


Рис. 6. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}$ в нижнем слое двухслойной системы при совместной работе слоев

к вычисленным при свободном смещении слоев на контакте. Поэтому при расчете одежд, подстилаемых связными грунтами, следует использовать номограмму, приводимую на рис. 6, а при слабосвязных грунтах — на рис. 7, причем в обоих случаях в расчет вводят соответствующие коэффициенты (п. 3.21).

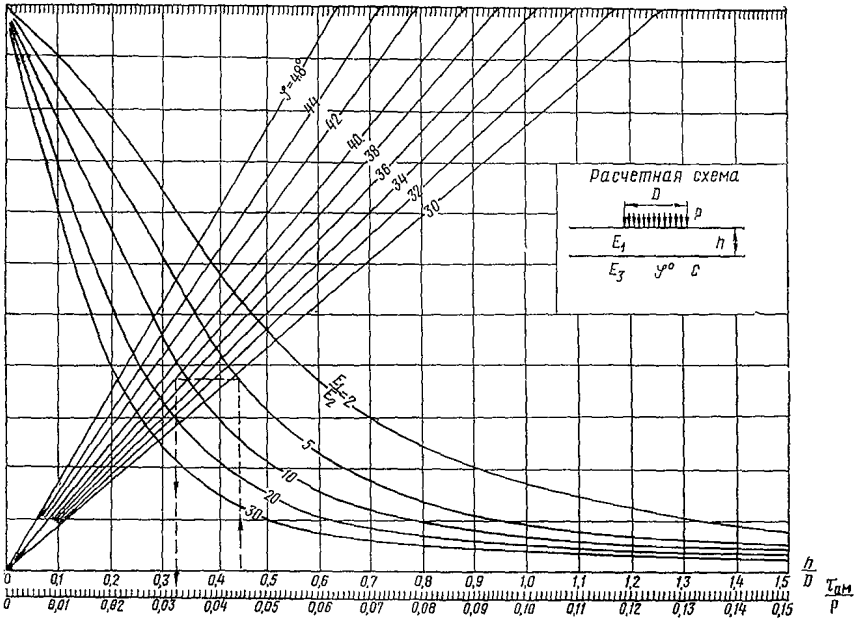


Рис. 7. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}$ в нижнем слое двухслойной системы при свободном смещении слоев на контакте

Чтобы повысить точность расчетов, на рис. 8 и 9 приведены детали основных расчетных номограмм, которыми следует пользоваться при малых значениях $\tau_{а.м}/p$.

3.20. Активное напряжение сдвига в подстилающем грунте от собственного веса одежды $\tau_{а.в}$ находят по номограмме на рис. 1 в зависимости от общей толщины одежды h (горизонтальная ось) и величины угла внутреннего трения φ подстилающего грунта (лучи на номограмме).

$\tau_{а.в}$ вводят в формулу (4) с тем знаком, с которым оно получено по номограмме на рис. 10.

3.21. Величина коэффициента K' в формуле (4) состоит из ряда частных коэффициентов, характеризующих влияние на работу дорожной конструкции различных факторов, не отраженных непосредственно в расчетных зависимостях.

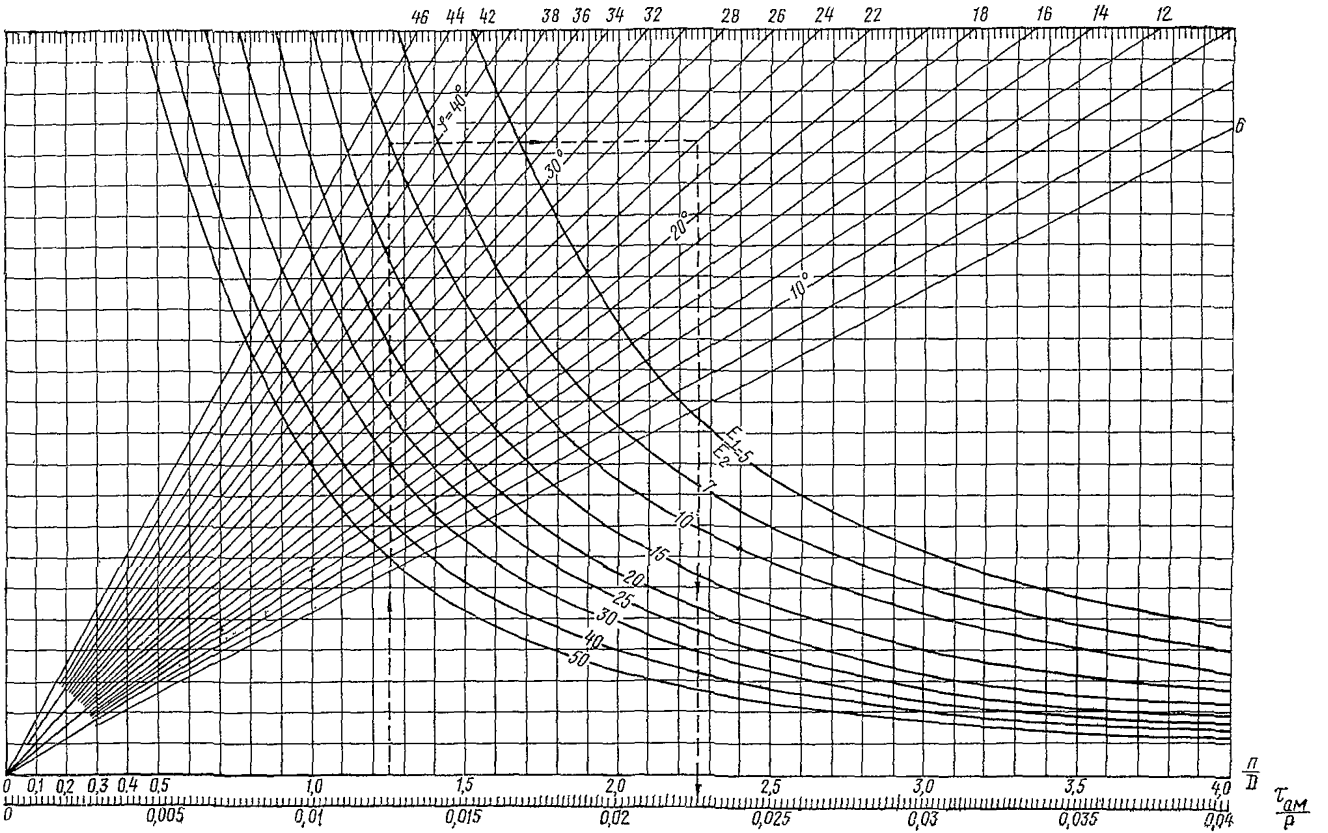


Рис. 8. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}$ в нижнем слое двухслойной системы при совместной работе слоев (деталь номограммы, помещенной на фиг. 6)

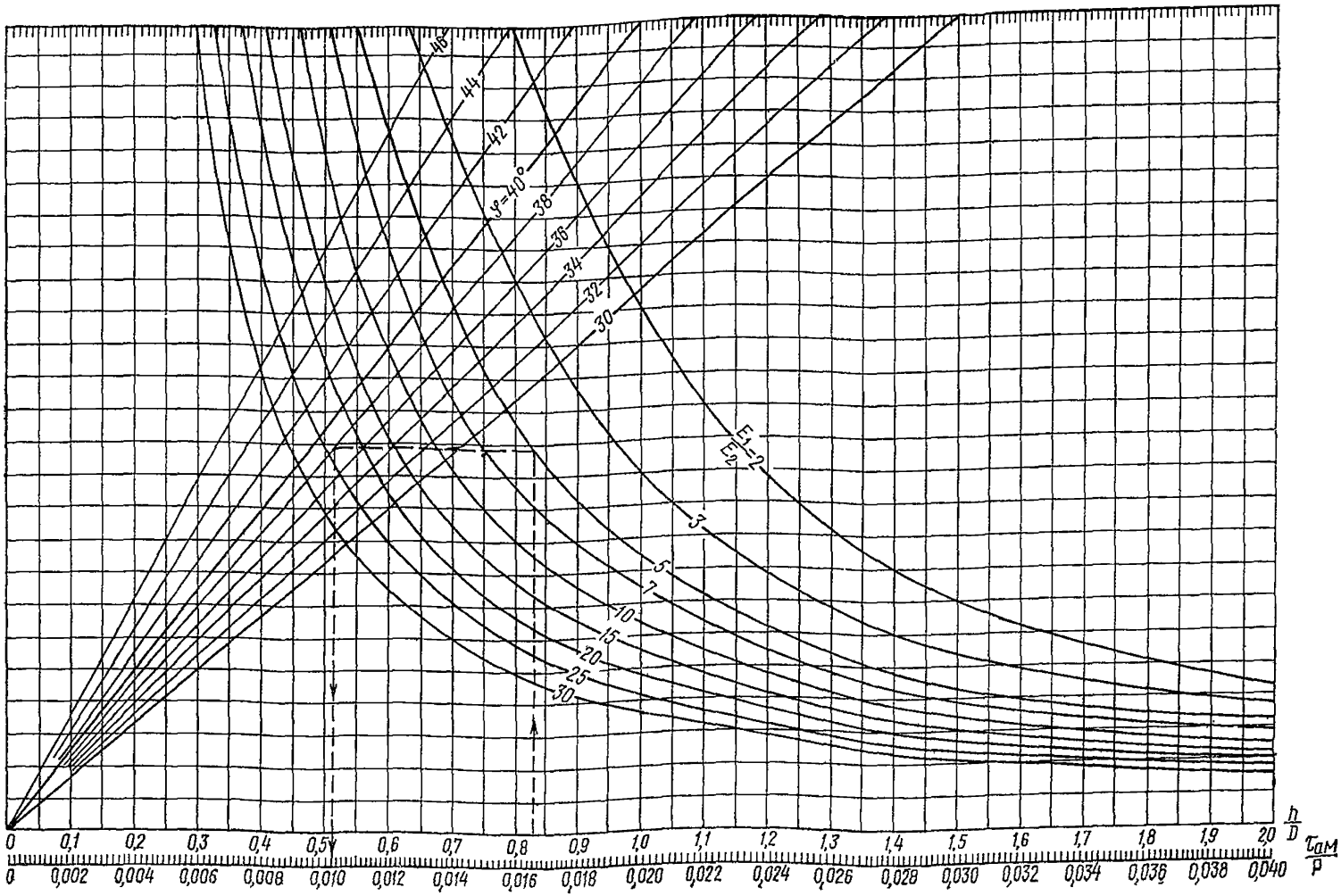


Рис. 9. Номограмма для определения активных напряжений сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}$ в нижнем слое двухслойной системы при свободном смещении слоев на контакте (деталь номограммы, изображенной на рис. 7)

Таблица 4

Количество расчетных автомобилей в сутки на полосу	Коэффициент запаса κ_2	Количество расчетных автомобилей в сутки на полосу	Коэффициент запаса κ_2
До 100	1	До 5000	0,65
» 1000	0,80	> 5000	0,60

Коэффициент K' находят из выражения

$$K' = \frac{\kappa_1 \kappa_2}{nm} \cdot \frac{1}{K_{пр}}. \qquad (5)$$

В настоящее время принимают следующие значения отдельных коэффициентов:

$n = 1{,}15$ — коэффициент перегрузки при движении автомобиля;

m — коэффициент, учитывающий условия на контакте конструктивных слоев; когда одежда подстилается связными грунтами (при расчете напряжений по номограммам на рис. 6 и 8), $m=0{,}65$; если в основании слабосвязные грунты (расчет ведут по номограммам на рис. 7 и 9), $m=1{,}15$;

$\kappa_1 = 0{,}6$ — учитывает снижение сопротивления грунтов сдвигу под действием повторных нагрузок (влияние тиксотропных изменений и др.);

κ_2 — коэффициент запаса на неоднородность условий работы конструкций, связанный с недоучетом неблагоприятных природных особенностей, технологическими и другими причинами; эти факторы проявляются тем в большей степени, чем выше интенсивность движения (табл. 4);

$K_{пр}$ — коэффициент, зависящий от требований к эксплуатационным качествам одежды.

Для одежд с капитальными покрытиями, которые проектируют на работу в стадии только обратимых деформаций, $K_{пр}=1$.

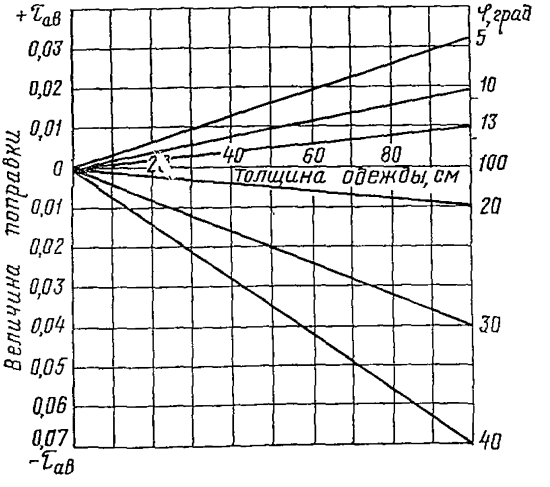


Рис. 10. Номограмма для определения активных напряжений сдвига $\tau_{а.в}$ от собственного веса одежды

Одежды с усовершенствованными облегченными покрытиями, требования к эксплуатационным качествам которых не столь высоки и сроки между ремонтами короче, проектируют с меньшим запасом прочности, чтобы снизить капиталовложения. Коэффициент $K_{пр}$ в этом случае принимают равным: 0,95—0,85 — для одежд с покрытиями из щебеночных и гравийных материалов, обработанных вязкими битумами; 0,85—0,75 — для одежд с покрытиями из смесей с жидкими вяжущими, а также с поверхностной обработкой.

Низшие значения коэффициентов принимают при малой интенсивности движения приблизительно до 100 расчетных автомобилей в сутки на полосу.

Одежды, в составе которых имеются конструктивные слои из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими (цементом и другими), когда образование остаточных деформаций недопустимо, при всех типах покрытия следует проектировать при $K_{пр}=1$.

Чтобы упростить расчеты, ряд коэффициентов целесообразно объединить, приняв в формуле (5) $\kappa_1/nm=K$,

тогда $$K'=K\kappa_2\frac{1}{K_{пр}}. \qquad (6)$$

где K имеет следующие значения:

0,8 — для одежд, подстилаемых связными грунтами и материалами (суглинки, супеси, кроме крупных, связные гравийные и подобные им материалы), когда расчет напряжений в подстилающем слое ведется с использованием номограмм, приведенных на рис. 6 и 8;

0,45 — для одежд, подстилаемых слабосвязными грунтами и материалами (пески, крупные супеси, несвязные обломочные породы), когда при расчетах используются номограммы на рис. 7 и 9.

3.22. Расчет по сдвигу в подстилающем грунте ведут методом последовательного приближения:

1) для одежды, приведенной к двухслойной конструкции (п. 3.17), находят отношения: $\frac{E_{ср}}{E_{гр}}$ и $\frac{h}{D}$,

где $E_{ср}$ — средний модуль упругости одежды, вычисленный по формуле (3);

$E_{гр}$ — модуль упругости подстилающего грунта;

h — общая толщина одежды;

D — расчетный диаметр напруженной площади;

2) выясняют, обеспечивается ли работа конструкции без образования пластических смещений в подстилающем грунте.

Условие (4) можно записать в виде:

$$\tau_{а.м}+\tau_{а.в}\leqslant\frac{1}{K_{пр}}K\kappa_2 c_{гр}. \qquad (7)$$

Левая часть неравенства (7) — максимальное активное напряжение сдвига в подстилающем грунте от временной нагрузки и

собственного веса одежды; оно может меняться с изменением конструкции одежды. Правая часть — допускаемое активное напряжение сдвига $\tau_{а.доп}$ — обычно остается в процессе расчета данной конструкции постоянным.

$\tau_{а.м}$ находят при известных $E_{ср}/E_{гр}$ и h/D с помощью номограмм на рис. 8 или 6 (связные грунты) или на рис. 9 или 7 (слабосвязные грунты), умножив полученное по нижней шкале номограммы значение $\tau_{а.м}/p$ на величину удельного давления p.

Величину $\tau_{а.в}$ находят по номограмме на рис. 10 при имеющейся толщине одежды h.

Допускаемое активное напряжение сдвига — правая часть неравенства (7) — вычисляют с учетом расчетной величины сцепления в подстилающем грунте $c_{гр}$ и коэффициентов, приведенных в п. 3.21;

3) если условие (7) не удовлетворяется и рассчитанное активное напряжение сдвига превышает допускаемое, следует увеличить толщину отдельных конструктивных слоев или материалы слоев заменить материалами с более высоким модулем упругости.

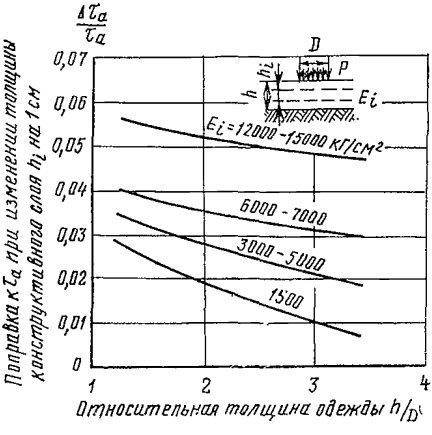


Рис. 11. Относительное изменение активного напряжения сдвига в подстилающем полупространстве $\Delta\tau_{а.м}/\tau_{а.м}$ при изменении толщины какого-либо слоя дорожной одежды на 1 *см*

Если допускаемое напряжение сдвига существенно превышает расчетное, можно уменьшить толщину слоев или использовать материалы с более низкими значениями модулей упругости. Измененную конструкцию вновь проверяют по формуле (7).

Чтобы сократить количество попыток при корректировке конструкции одежды, можно воспользоваться номограммой, приводимой на рис. 11. По ней получают относительное изменение величины максимального активного напряжения сдвига в подстилающем грунте $\Delta\tau_{а.м}/\tau_{а.м}$ (вертикальная ось) при изменении на 1 *см* толщины какого-либо конструктивного слоя h_i с модулем E_i.

Значения $\Delta\tau_{а.м}/\tau_{а.м}$ зависят от относительной толщины всей одежды h/D (горизонтальная ось) и величины модуля упругости рассматриваемого слоя E_i (числа на кривых).

3.23. Возможен другой порядок расчета. В некоторых случаях целесообразно задать средний модуль упругости дорожной одеж-

ды $E_{ср}$ и по номограмме на рис. 6 или 7 определить требуемую толщину одежды h. Можно принять толщину двух или трех слоев одежды и определить необходимую толщину недостающего слоя. В этих случаях величиной напряжений от собственного веса в формуле (7) приходится задаваться и в дальнейшем уточнять ее. Поскольку величина этих напряжений, особенно в связных грунтах, невелика, значительных затруднений это не вызывает.

Расчет конструктивных слоев из слабосвязных материалов

3.24. Конструктивные слои одежды из слабосвязных материалов — гравийных, песчаных и подобных им, а также из материалов и грунта, укрепленных жидкими вяжущими, рассчитывают исходя из условия, чтобы в них не возникали остаточные деформации под действием сдвигающих напряжений. Ниже излагается рекомендуемый в настоящее время приближенный способ такого расчета. При расчете слоев из слабосвязных материалов используют также зависимости (2)—(7).

Расчет ведут следующим образом. Многослойную конструкцию (рис. 12, *а*), в которой рассчитываемым в данном случае является слой h_3, приводят к двухслойной (рис. 12, *б*). Толщину верхнего слоя приведенной конструкции принимают равной суммарной толщине слоев, расположенных выше рассчитываемого слоя: $h = h_1 + h_2$, а модуль упругости $E'_{ср}$ вычисляют по формуле (3).

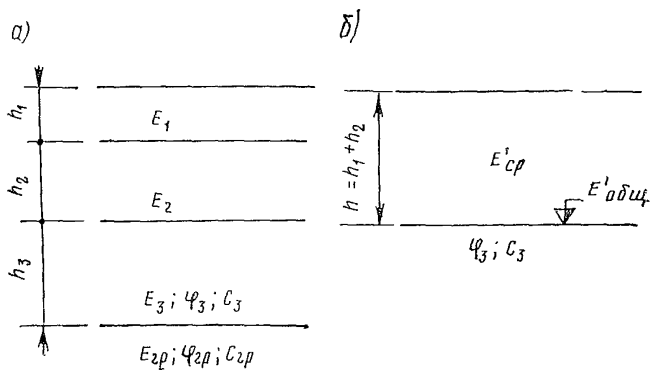


Рис. 12. Схема приведения многослойной конструкции (*а*) к двухслойной (*б*) при расчете материала промежуточного слоя на сдвиг

Нижележащие слои, включая рассчитываемый, приводят к эквивалентному по жесткости однородному полупространству с модулем упругости $E'_{общ}$ (см. рис. 12, *б*). Модуль упругости $E'_{общ}$ находят с помощью номограммы на рис. 4, как указано в п. 3.13.

В полученной таким образом двухслойной системе не должен переходить в запредельное по сдвигу состояние материал нижнего слоя, прочностные характеристики которого (φ, c) принимаются те же, что у материала рассчитываемого промежуточного слоя одежды (см. рис. 12, *б*).

Проверяют это следующим образом. С помощью номограммы рис. 8 или 9 (6 или 7) в зависимости от свойств материала рассчитываемого промежуточного слоя (для песчаного слоя пользуются номограммой на рис. 7, для слоев из гравийных и гравиеподобных материалов, шлаков, а также из материалов и грунта, укрепленных жидкими вяжущими, номограммой на рис. 6) находят, как указывалось выше, максимальное активное напряжение сдвига от расчетной нагрузки $\tau_{а.м}$, а по рис. 10 получают $\tau_{а.в}$. Затем проверяют, удовлетворяется ли условие прочности (7).

Если полученное расчетом напряжение сдвига больше допускаемого, нужно увеличить толщину вышележащих слоев h, применить более жесткие материалы (повысить $E'_{ср}$) или в рассчитываемом конструктивном слое использовать более прочные материалы (с более высокими значениями φ и c).

Когда рассчитанное напряжение значительно ниже допускаемого, т. е. прочностные свойства материала рассчитываемого слоя недоиспользуются, следует оценить целесообразность внесения в проектируемую конструкцию изменений, чтобы снизить стоимость одежды (за счет использования менее прочных материалов, утолщения рассчитываемого слоя с одновременным уменьшением толщины вышележащих слоев из более дорогих материалов и т. д.).

При расчете вариантов с разной толщиной слоя из слабосвязных материалов может оказаться, что с увеличением толщины этого слоя, т. е. с ростом общего модуля упругости $E'_{общ}$, допускаемая нагрузка на конструкцию снижается. Это вполне закономерно.

Из теории слоистых упругих систем известно, что с уменьшением отношения модулей упругости верхнего и нижнего слоев $E'_{ср}/E'_{общ}$ напряжения в нижнем слое от временной нагрузки возрастают; если это не сопровождается ростом прочности материала нижнего слоя (увеличением сопротивления сдвигу), то предельное состояние в последнем может наступить под действием меньшей нагрузки на поверхности конструкции.

Аналогично рассчитывают последовательно все имеющиеся промежуточные слои из слабосвязных материалов.

После того как в первоначальную конструкцию одежды внесены изменения, проверяют вновь, не достигается ли предельное равновесие по сдвигу в подстилающем одежду грунте (п. 3.22).

Расчет конструктивных слоев из монолитных материалов на растяжение при изгибе

3.25. В монолитных слоях дорожной одежды — из асфальтобетона, из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, и др., возникающие при прогибе одежды под действием повторных временных нагрузок напряжения не должны вызывать нарушения структуры материала и приводить к образованию трещин.

В данном случае условие прочности выражается неравенством

$$\sigma_r \leqslant R_и, \tag{8}$$

где σ_r — наибольшее растягивающее напряжение в рассматриваемом слое, устанавливаемое путем расчета;

$R_и$ — предельное допустимое растягивающее напряжение материала слоя.

Величина $R_и$ зависит от физико-механических свойств материала, от режима нагружения (повторяемость, скорость роста напряжений и др.), определяющего интенсивность процессов нарушения структуры. Кроме того, для асфальтобетона и других битумоминеральных смесей $R_и$ в большой степени зависит от температуры в расчетный период, а для материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, — от влажности.

Величину наибольшего растягивающего напряжения при изгибе в монолитном слое σ_r вычисляют, используя решения теории упругости для слоистого полупространства. Для практических расчетов даны расчетные номограммы.

На растяжение при изгибе рассчитывают монолитные слои из асфальтобетона, смесей с вязкими битумами и дегтями, а также слои из материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Слои из крупнопористых материалов (фракционированного щебня, обработанного в смесителе битумом или дегтем, щебня, обработанного по способу пропитки, и т. п.) и из смесей с жидкими органическими вяжущими по этому критерию не рассчитывают.

Ниже рассмотрены два встречающихся в практике проектирования характерных случая: монолитный слой находится на поверхности одежды — асфальтобетонные и подобные им покрытия; монолитный слой расположен в толще дорожной одежды — различного рода монолитные основания.

3.26. Расчет монолитных покрытий на растяжение при изгибе осуществляют с помощью номограммы, приведенной на рис. 13.

Номограмма связывает (см. расчетную схему) относительную толщину покрытия h_1/D (горизонтальная ось) и отношение модуля упругости материала покрытия к общему модулю на поверхности основания $E_1/E_{общ.осн}$ (кривые на номограмме) с величиной максимального растягивающего напряжения при изгибе в материале покрытия σ_r от местной нагрузки 1 $кГ/см^2$ (вертикальная ось). Номограмма составлена для случая, когда отсутствует сцепление покрытия с основанием (наиболее опасный случай).

Порядок расчета следующий:

а) находят величину общего модуля упругости на поверхности основания $E_{общ.осн}$; вычисления ведут по номограмме (см. рис. 4) путем последовательного приведения слоев, как указано в п. 3.13;

б) по номограмме, изображенной на рис. 13, для известных h_1/D и $E_1/E_{общ.осн}$ находят на вертикальной оси максимальное

удельное растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$: полное растягивающее напряжение в верхнем слое определяют из выражения

$$\sigma_r = 1{,}15\, p\, \bar{\sigma}_r,$$

где p — расчетное удельное давление на покрытие, $кГ/см^2$;
1,15 — коэффициент динамичности;

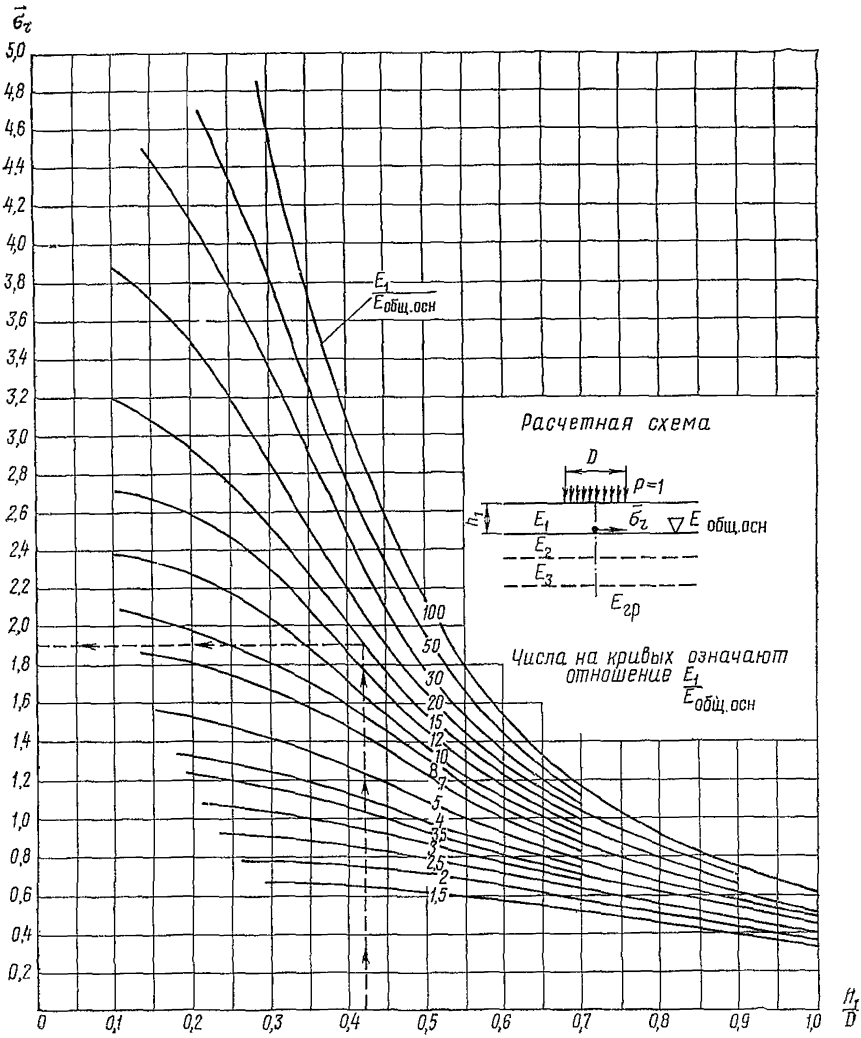


Рис. 13. Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе $\bar{\sigma}_r$ от единичной нагрузки в верхнем монолитном слое (цифры на кривых означают отношение $E_1/E_{общ.\,осн.}$)

в) величину $\bar{\sigma}_r$ сопоставляют с допускаемым растягивающим напряжением в однослойном или нижнем слое двухслойного покрытия $R_и$ при соответствующей расчетной температуре и перспективной интенсивности движения (табл. 1 приложения 3).

При $\bar{\sigma}_r \leqslant R_и$ обеспечивается нормальная работа покрытия; если $\bar{\sigma}_r > R_и$, необходимо усилить одежду. Это можно сделать, увеличив толщину покрытия h_1 или повысив жесткость основания $E_{общ.осн}$.

При расчете двухслойного асфальтобетонного покрытия допускается рассчитывать на растяжение при изгибе только нижний слой покрытия. В этом случае двухслойное покрытие приводится к одному слою по формуле (3) и расчет ведется на $R_и$, соответствующее материалу нижнего слоя.

3.27. Промежуточные монолитные слои одежды рассчитывают по номограмме рис. 14. При этом многослойную конструкцию предварительно приводят к трехслойной, где средним является рассчитываемый монолитный слой (см. расчетную схему на рис. 14).

Номограмма связывает относительную толщину двух верхних слоев трехслойной системы h/D и величину растягивающего напряжения $\bar{\sigma}_r$ от единичной нагрузки в нижней точке рассчитываемого слоя под центром нагруженной площади (где эти напряжения достигают наибольшей величины) при различных отношениях модулей упругости слоев E_1/E_2 (кривые на номограмме) и E_2/E_3 (лучи на номограмме).

Номограмма построена для случая совместного смещения слоев в плоскости контакта (наиболее невыгодное условие в смысле величины растягивающих напряжений в среднем слое). Все расчеты сделаны при отношении $h_1/h=0{,}3$, но анализ показывает, что номограмма может быть использована с достаточной для практических целей точностью при h_1/h в пределах 0,1—0,6.

Расчет промежуточного монолитного слоя ведут следующим образом:

а) по формуле (3) вычисляют средний модуль упругости конструктивных слоев, лежащих выше рассчитываемого монолитного слоя (на схеме E_1). Слои, подстилающие монолитный слой, приводят к эквивалентному по жесткости однородному полупространству с модулем упругости E_3 путем последовательного вычисления общих модулей каждой пары смежных слоев, как указано в п. 3.13;

б) по номограмме (см. рис. 14) находят растягивающее напряжение $\bar{\sigma}_r$ в рассчитываемом слое от единичной нагрузки на поверхности покрытия. Для этого из точки на верхней горизонтальной оси, соответствующей отношению h/D, проводят вертикаль до кривой с известным отношением E_1/E_2; из точки пересечения ведут горизонтальную прямую до луча, соответствующего отношению E_2/E_3, откуда опускают вертикаль на нижнюю горизонтальную ось, где находят значение $\bar{\sigma}_r$.

Расчетную величину растягивающих напряжений в монолитном слое находят из выражения $\sigma_r = 1{,}15\, p\bar{\sigma}_r$, где p — расчетная удельная нагрузка. Если $\sigma_r < R_и$, обеспечивается нормальная работа рассчитываемого слоя. Когда $\sigma_r > R_и$, одежду следует усилить или устроить монолитный слой из материала, обладающего более высоким сопротивлением растяжению в расчетный период.

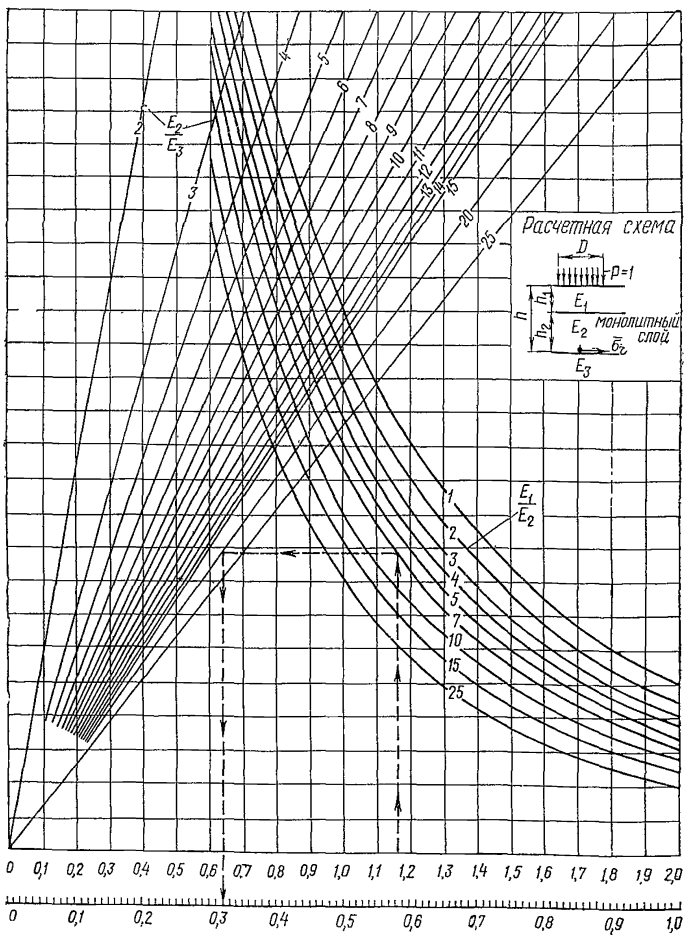


Рис. 14. Номограмма для определения растягивающих напряжений при изгибе $\bar{\sigma}_r$ от единичной нагрузки в промежуточном монолитном слое (цифры на кривых означают отношение E_1/E_2, а на лучах E_2/E_3)

Усилить одежду можно путем утолщения или повышения жесткости конструктивных слоев, в том числе и самого рассчитываемого слоя.

3.28. Чаще всего целесообразен следующий порядок расчета дорожной одежды:

а) с учетом значения дороги, перспективной интенсивности и состава движения, природных условий, обеспеченности материалами и т. д. назначают тип покрытия и вид материалов для отдельных конструктивных слоев;

б) рассчитывают одежду по величине упругого прогиба;

в) рассчитывают одежду по условию сдвига в подстилающем грунте и в промежуточных слоях из слабосвязных материалов;

г) рассчитывают монолитные слои одежды на растяжение при изгибе;

д) при конструировании и расчете учитывают необходимость обеспечить в соответствующих условиях осушение и морозоустойчивость конструкции (раздел 4);

е) при изменении ранее намеченной толщины или материалов отдельных конструктивных слоев одежды проверяют, отвечает ли запроектированная конструкция всем критериям предельного состояния.

Расчет по тому или иному критерию считается законченным, если получаемые расчетом напряжения, модули упругости или толщины слоев отличаются от предельно допускаемых или минимально необходимых их значений не более чем на 5%. Примеры расчета приведены в приложении 4.

РАСЧЕТ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД С ПОКРЫТИЯМИ ПЕРЕХОДНОГО ТИПА

3.29. Одежды с покрытиями переходного типа рассчитывают только по одному критерию — допустимой величине упругого прогиба.

В соответствии с указаниями п. 3.4 ожидаемое на дороге движение приводят, пользуясь коэффициентами (табл. 4 приложения 1), к расчетному автомобилю и получают расчетную интенсивность движения.

По номограммам, имеющимся на рис. 2 и 3, или по табл. 2 и 3 находят значение требуемого модуля одежды $E_{тр}$. Затем, ведя расчет, как указано в пп. 3.13—3.15, назначают толщину отдельных конструктивных слоев исходя из условия $E_{общ}=E_{тр}$.

При проектировании одежд с покрытиями переходного типа особенно целесообразно использовать принцип стадийного усиления и совершенствования одежды по мере роста движения. На первой стадии в ряде случаев может оказаться рациональным для сокращения первоначальных затрат ограничивать движение по тоннажу и интенсивности в неблагоприятные периоды года.

УСИЛЕНИЕ ОДЕЖД НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ДОРОГАХ

3.30. Усиление одежд в связи с реконструкцией или капитальным ремонтом дорог и улиц проектируют с учетом основных положений, изложенных применительно к проектированию новых дорожных одежд. Однако имеются особенности, связанные с наличием старой одежды.

В процессе изысканий вскрывают одежду на отдельных участках, измеряют толщину конструктивных слоев, определяют вид грунта земляного полотна и условия увлажнения, затем рассчитывают необходимое усиление, чтобы обеспечивалась нормальная работа конструкции при ожидаемом в перспективе движении.

При проектировании усиления обязательно должен быть использован опыт службы одежды за период эксплуатации дороги. Данные о службе одежды при имеющемся движении на протяжении ряда лет, включая и наиболее неблагоприятные в погодном отношении (так называемые расчетные) периоды, чрезвычайно ценны для уточнения расчетных характеристик дорожной конструкции в целом и ее отдельных элементов.

3.31. При наличии надежных данных, полученных испытанием существующей конструкции в расчетный период с помощью передвижного пресса (приложение 5) или колесом автомобиля (приложение 7), проектирование ведут, пользуясь в основном методом расчета по упругому прогибу.

Фактический общий модуль упругости дорожной конструкции вычисляют на основании имеющихся данных о максимальных значениях на отдельных участках величины обратимых прогибов l по формуле

$$E_{общ} = \frac{p D (1 - \mu^2)}{l}, \qquad (9)$$

где p — удельное давление на покрытие, при котором получена величина обратимого прогиба l;

D — диаметр штампа или круга, равновеликого площади контакта колеса испытательного автомобиля:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\pi p}},$$

P — нагрузка на колесо;

μ — коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,3.

Затем по номограмме (см. рис. 2 и 3) или табл. 2 и 3 устанавливают величину требуемого модуля упругости для одежды с покрытием намечаемого типа при перспективном движении.

Имея значения $E_{общ}$ и $E_{тр}$ и используя номограмму на рис. 4, проектируют в соответствии с пп. 3.13—3.15 усиление существующей одежды, с тем чтобы общий модуль запроектированной конструкции соответствовал $E_{тр}$. Запроектированные таким образом слои усиления рассчитывают, кроме того, на растяжение при из-

гибе (монолитные материалы), а также на сопротивление сдвигу (слабосвязные материалы) и, когда это требуется, вносят необходимые коррективы.

Достоинством проектирования усиления одежды по упругому прогибу является то, что в расчетах участвуют не усредненные расчетные характеристики материалов и грунта, получаемые из таблиц, а реальные характеристики существующей конструкции в условиях, в которых она работает на каждом отдельном участке дороги. Для того чтобы гарантировать надежные расчетные значения $E_{общ}$, должна быть уверенность, что испытания проведены в наиболее неблагоприятный для каждого участка период, когда $E_{общ}$ имеет минимальное значение.

Поскольку фактические значения $E_{общ}$ на каждом участке очень сильно различаются не только в разное время года, но и в неблагоприятные периоды отдельных лет, для получения надежных расчетных значений нужно располагать результатами испытаний в неблагоприятные периоды ряда лет, причем с достаточным числом измерений в каждом году (приложение 7).

Полученные по результатам испытаний расчетные значения $E_{общ}$ могут быть использованы также для решения вопроса о необходимом ограничении движения по дороге в неблагоприятные периоды года. Сопоставляя $E_{общ}$ с $E_{тр}$, по номограммам рис. 2 или рис. 3 получают предельно допустимую интенсивность движения.

3.32. Если отсутствуют надежные данные о прогибах существующей одежды в наиболее неблагоприятный период, дорожную одежду следует рассчитывать по трем критериям: упругому прогибу, предельному равновесию при сдвиге в подстилающем грунте и слабосвязных материалах, а также по растяжению при изгибе в слоях из монолитных материалов. При этом рассчитывают не только слои усиления, но и всю существующую конструкцию.

Расчетные характеристики грунта и материалов в этом случае принимают по приложениям 2 и 3. Если на существующем покрытии имеется сетка трещин, расчетные модули упругости монолитных покрытий следует снижать до 50%.

4. ОСУШЕНИЕ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТИ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

ОСУШЕНИЕ

4.1. Необходимо предусматривать особые меры по осушению дорожной конструкции, если количество воды, поступающей в основание проезжей части в отдельные периоды, больше, чем может разместиться в порах нижних слоев одежды и подстилающем грунте без значительного снижения их сопротивления нагрузкам от движущихся автомобилей.

В грунтах и мелкопористых материалах слоев одежды, полностью насыщенных водой, в момент быстрого приложения нагрузка воспринимается водой, заполняющей поры. В результате повышается гидростатическое давление, соз-

дающее крайне неблагоприятное напряженное состояние системы: сдвигающие напряжения достигают большой величины, а сопротивление сдвигу мало из-за того, что минеральный скелет не нагружен. В результате при каждом нагружении могут возникать элементарные сдвиги, которые, постепенно накапливаясь, приводят к недопустимым деформациям. Чтобы исключить или в возможной мере смягчить указанные явления, устраивают дренирующий слой в основании дорожной одежды.

Дренирующие слои, как правило, необходимы:

на участках с земляным полотном из слабофильтрующих грунтов во всех случаях, когда грунт может увлажняться до полной влагоемкости: при неглубоком залегании подземных вод, на длительно подтапливаемых участках (ориентировочно в условиях, очерченных ломаной линией в табл. 1 приложения 2);

в районах с большим количеством осадков на участках, в основании проезжей части которых возможно скопление воды, проникающей с поверхности (участки с затяжными продольными уклонами, при сравнительно легко водопроницаемых грунтах обочин, на вогнутых переломах продольного профиля, у прилегающих к проезжей части зеленых насаждений и газонов).

4.2. Дренирующие слои устраивают из песка, гравия, отсортированного шлака и других фильтрующих местных материалов.

Необходимый коэффициент фильтрации материала устанавливают расчетом (пп. 4.11—4.15). Однако не следует применять материалы, коэффициент фильтрации которых при максимальной плотности по методу стандартного уплотнения ($K_0' = 1{,}0$) меньше 1 *м/сутки*.

На участках, проходящих в выемках и в нулевых отметках, где возвышение низа дорожной одежды не удовлетворяет требованиям СНиПа, а также в местах, где ожидается большое скопление воды (вогнутые переломы профиля и др.), не рекомендуется применять материалы с коэффициентом фильтрации менее 2 *м/сутки*.

Во II и III дорожно-климатических зонах материалы для дренирующего слоя должны быть морозостойкими. Кроме того, к ним предъявляют определенные требования в отношении прочности, ибо дренирующие слои, как и другие элементы конструкции, участвуют в распределении напряжений от временных нагрузок.

Если наряду с дренирующим требуется устраивать также и морозозащитный слой, выбор материалов, конструирование и расчет этих двух элементов производятся совместно. Конструкцию дренирующего слоя назначают одновременно с проектированием дорожной одежды и земляного полотна.

4.3. Дренирующий слой устраивают на всю ширину земляного полотна (рис. 15) или только на ширину проезжей части и укрепительных полос на обочинах. Во втором случае для отвода воды из дренирующего слоя укладывают продольные и поперечные трубчатые дрены.

При выборе конструкции дренажных устройств учитывают количество воды, подлежащей отводу, фильтрационную способность материала дренирующего слоя, обеспеченность дренажными тру-

бами, конструкцию земляного полотна, а также долговечность сооружаемой дорожной одежды.

При удельном притоке воды в сутки более 70 *л* на 1 $м^2$ проезжей части и необходимости снизить толщину дренирующего слоя

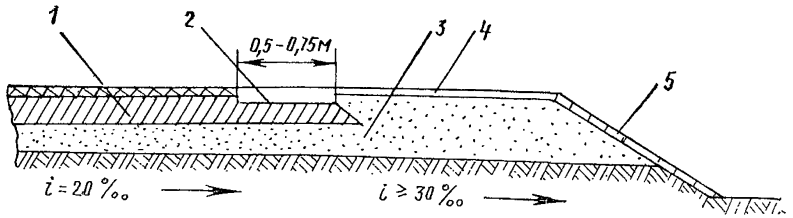


Рис. 15. Дренирующий слой на всю ширину земляного полотна:
1 — покрытие и основание; *2* — укрепительная полоса; *3* — дренирующий слой; *4* — укрепление поверхности обочины; *5* — засев откоса

целесообразно устраивать трубчатые продольные дрены вдоль краев проезжей части и трубчатые поперечные дрены (рис. 16).

Если в дренирующих слоях на участках с нулевыми отметками и в выемках используют мелкие пески, чтобы существенно повы

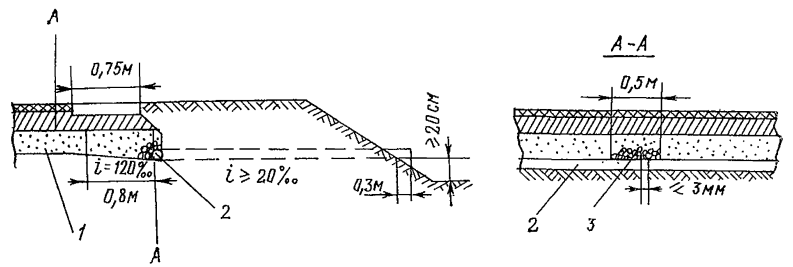


Рис. 16. Продольный трубчатый дренаж с поперечными выпусками:
1 — дренирующий слой; *2* — труба *d*=80—100 *мм*; *3* — фильтрующая обсыпка стыка труб или сплошная обсыпка перфорированных труб

сить водопропускную способность дренажной системы, рационально устраивать у краев проезжей части углубленные продольные ровики с трубчатыми дренами (рис. 17).

Если имеется водосточная сеть для сброса воды с проезжей части (городские улицы, участки автомагистралей с широкой проезжей частью), воду из дренирующего слоя отводят в водоприемники.

4.4. Для устройства продольных и поперечных дрен могут быть использованы перфорированные, асбестоцементные, пластмассовые, бетонные и гончарные трубы, а также трубофильтры, являющиеся наиболее совершенными, не требующими фильтрующей обсыпки.

Если применяют обычные трубы с водонепроницаемыми стенками, для отвода воды из дренирующего слоя вокруг стыков труб укладывают фильтрующую обсыпку, повышающую водоприемную способность и срок службы дрен (см. рис. 16). Крупность материала обсыпки и толщину ее определяют расчетом [4]. Этим же источником руководствуются, назначая способы производства работ при устройстве фильтрующих обсыпок.

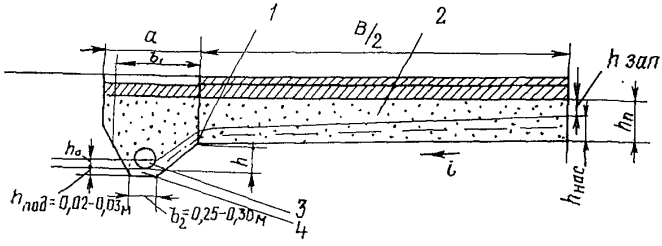


Рис. 17. Углубленный продольный ровик с трубчатой дреной, усиливающий процесс фильтрации воды:

1 — зона свободной воды; *2* — капиллярная зона; *3* — труба $d=80$—100 *мм* или трубофильтр $d=50$ *мм*; *4* — подушка из мелкого гравия; *5* — укрепительная полоса; h_0 — глубина фильтрационного потока непосредственно у дрены; $h_{нас}$ — глубина фильтрационного потока по оси; $h_{зап}$ и $h_п$ см. п. 4. 9; h — глубина продольного ровика; b_1 — ширина продольного ровика поверху

4.5. На участках с затяжными уклонами, когда продольный уклон больше поперечного, для перехвата и отвода воды, перемещающейся в дренирующем слое, целесообразно в основании поперек проезжей части укладывать перфорированные трубы, трубофильтры или устраивать валики из крупнопористых материалов (рис. 18). Аналогичные устройства целесообразны в местах вогнутых переломов профиля и на участках, где выемка переходит в насыпь. Вода из них отводится с помощью труб, уложенных под обочинами. Расстояние между поперечными трубами и валиками для перехвата воды определяют расчетом, но их не следует устраивать реже, чем через 50 *м*.

4.6. Проектирование дренирующих устройств следует начинать с установления расчетного периода. В районах сезонного промерзания грунтов таким периодом будет начало весны, когда оттаивает дорожная конструкция и в основание поступает накопленный зимой избыток влаги из земляного полотна, а также проникают атмосферные осадки через обочины, у краев проезжей части, через трещины в покрытии. В других районах с влажным климатом за расчетный принимают период максимального выпадения осадков.

Дренажную систему рассчитывают на обеспечение отвода всей свободной воды, поступающей в основание проезжей части в расчетный период, а в районах сезонного промерзания, кроме того,

на временное размещение ее до начала работы водоотводящих устройств.

При проектировании следует учитывать два расчетных этапа:

1) начало весеннего оттаивания, когда в основании дорожной одежды образуется талая область под серединой проезжей части, а дренирующий слой у краев находится еще в мерзлом состоянии и водоотводящие устройства не работают; в пористом слое основания в этот период должно разместиться все количество поступающей воды, не снижая прочности конструкции;

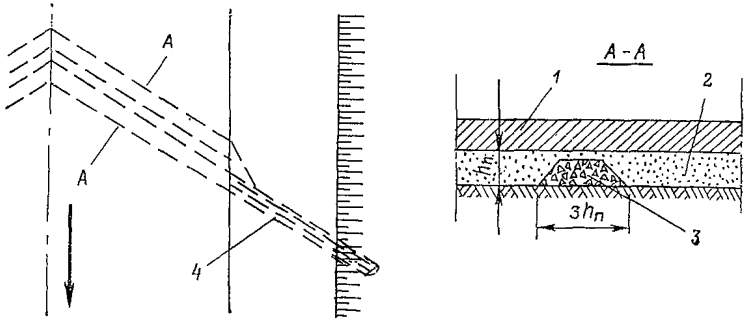


Рис. 18. Устройство для перехвата и отвода воды на участках с затяжным продольным уклоном:

1 — покрытие и каменное основание; *2* — дренирующий слой из песка толщиной $h_п$; *3* — гравий, щебень либо трубофильтр; *4* — дренажная труба

2) дренирующий слой в основании одежды полностью оттаял и водоотводящие устройства начали нормально работать; расчет дренажной системы в этом случае базируется на закономерностях движения воды в сравнительно маломощных пористых слоях.

4.7. Проектирование мероприятий по осушению конструкции осуществляется в следующем порядке:

а) дорогу разделяют на типичные участки по виду продольного профиля и природным условиям с учетом особенностей конструкции одежды и обеспеченности материалами для дренирующего слоя и дрен;

б) для типичных участков определяют количество поступающей воды в основание за сутки в расчетный период (п. 4.8);

в) назначают конструкцию дренирующего слоя и тип устройств для отвода воды (см. пп. 4.3 и 4.4), обосновывают расчетом толщину дренирующего слоя, необходимую в данных условиях (пп. 4.11—4.14). На основе технико-экономического сравнения вариантов определяют, какие из имеющихся материалов целесообразно использовать в дренирующем слое на каждом участке.

4.8. Приток воды в основание проезжей части за сутки расчетного периода складывается из объема воды, освобождающейся при оттаивании переувлажненного грунта земляного полотна под проезжей частью и обочинами, и объема воды, проникающей с поверхности дороги.

Среднесуточный суммарный приток воды в основание (в литрах на 1 $м^2$ проезжей части) зависит от грунтовых, гидрогеологических, погодно-климатических условий, конструкции земляного полотна и при проектировании дренажа принимается по табл. 5.

Таблица 5

Дорожно-климатическая зона	Тип увлажнения местности	Грунт		
		Легкая супесь (непылеватая) и пылеватый песок А	Суглинок (непылеватый) и глина Б	Пылеватые супесь и и суглинок В
II	1	2,5	2,0	3,0
	2	3,0	3,0	4,0
	3	3,5	4,0	5,0
III	1	1,5	1,5	2,0
	2	2,0	2,0	2,5
	3	2,5	2,5	3,5
IV	3	2,0	2,0	2,5

Примечания. 1. Для Прибалтики при грунтах групп Б и В приводимые в таблице данные следует повысить на 25%.

2. При наличии газонов или разделительной полосы табличные значения притока воды следует увеличить на 20%.

Расчетное значение притока воды ($м^3/м^2/сутки$) в дренирующий слой определяют по формуле

$$q_р = \frac{q\,к_п\,к_г}{1000}, \qquad (10)$$

где $к_п$ — коэффициент «пик», учитывающий неустановившийся режим поступления воды из-за неравномерного оттаивания и атмосферных осадков;

$к_г$ — коэффициент гидрологического запаса, учитывающий снижение фильтрационной способности дренирующего слоя в процессе эксплуатации дороги; для непылеватых грунтов земляного полотна $к_г \approx 1$.

Значения коэффициентов $к_п$ и $к_г$, зависящие от свойств грунта и условий увлажнения местности, принимают по табл. 6.

4.9. Полная толщина дренирующего слоя должна составлять

$$h_п = h_{нас} + h_{зап}, \qquad (11)$$

где $h_{нас}$ — толщина слоя, полностью насыщенного водой (пп. 4.11—4.14);

$h_{зап}$ — дополнительная толщина слоя для обеспечения устойчивости материала дренирующего слоя под действием кратковременных повторяющихся нагрузок от автомобилей. Величина $h_{зап}$ зависит от капиллярных свойств материала и принимается равной h_1' (табл. 7).

Таблица 6

Дорожно-климатическая зона	Тип увлажнения местности	Грунт		
		непылеватый $\kappa_п$	пылеватый	
			$\kappa_п$	$\kappa_г$
II	1	1,5	1,5	1,0
	2	1,5	1,6	1,2
	3	1,6	1,7	1,3
III	1	1,4	1,5	1,0
	2	1,4	1,5	1,1
	3	1,5	1,6	1,2
IV	3	1,2	1,3	1,0

4.10. Метод расчета дренирующего слоя принимают в зависимости от фильтрационных и капиллярных свойств материала, конструкции земляного полотна и дренажных устройств.

Толщина дренирующего слоя из материалов с коэффициентом фильтрации $K_ф=4$ *м/сутки,* определенная исходя из условия своевременного отвода воды, обычно обеспечивает и временное размещение воды в период, когда водоотводящие устройства еще не работают; при $4<K_ф\leqslant 10$ *м/сутки* толщина дренирующего слоя, рассчитанная на временное размещение воды, обычно обеспечивает и своевременный отвод воды после оттаивания водоотводящих устройств.

Дренирующий слой из мелких и средних песков рассчитывают с учетом движения воды в зоне капиллярного насыщения; в этом случае, если дренажная система устраивается по схеме, изображенной на рис. 15 и 16, расчет ведут по методу, изложенному в п. 4.11, а когда дренирующий слой устраивается только на ширину проезжей части с отводом воды углубленными в ровики про-

Таблица 7

Группа песка	Песок	Содержание частиц		Коэффициент влагопроводимости в капиллярной зоне K_w, *м/сутки*	Высота зоны движения капиллярной воды, *м*	
		Размер, *мм*	% по весу		h'_1	h'_2
1	Крупный	>0,50	>50	0,55	0,12	0,07
2	Средней крупности	>0,25	>50	0,60	0,14	0,09
3	Мелкий	>0,10	>75	0,65	0,18	0,12

Примечание. При коэффициенте однородности песков $\frac{d_{60}}{d_{10}}\leqslant 3$ значения характеристик для средних песков следует принимать по первой строке таблицы (группа песка 1), а для мелких — по второй строке (группа 2).

дольными дренами (см. рис. 17), расчет ведут по методу, приведенному в п. 4. 12.

При крупных песках и других крупнозернистых материалах ($K_ф > 10$ *м/сутки*) движение воды в капиллярной зоне не учитывают, и дренирующий слой рассчитывают по методу, изложенному в п. 4.14.

4.11. Метод расчета дренирующего слоя из мелких и средней крупности песков, обладающих достаточно высокими капиллярными свойствами, основан на закономерностях установившегося режима движения воды в двух взаимосвязанных потоках, расположенных в два яруса (рис. 19); в нижнем потоке движется сво-

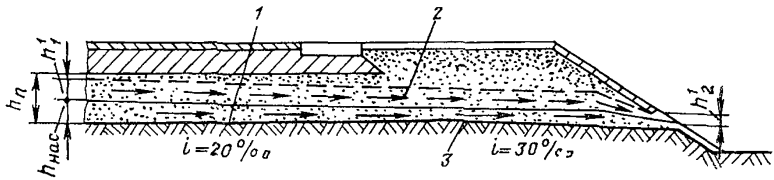


Рис. 19. Схема фильтрации воды в дренирующем слое:
1 — движение свободной воды; *2* — движение воды в капиллярной зоне; *3* — грунтовое основание

бодная, а в верхнем — капиллярная вода. Исходя из этого дренирующий слой рассчитывают по двучленной формуле (12), первый член которой дает расход свободной воды, а второй — расход воды, перемещающейся в капиллярной зоне:

$$q' = K_ф m \frac{h_{нас}}{2} \cdot \frac{h_{нас} + iL}{L} + K_w m' \frac{h_1' + h_2'}{2} \cdot \frac{h_{нас} + h_1' - h_2' + iL}{L}, \quad (12)$$

где q' — приток воды на 1 *м* ширины потока, *м³/сутки*;

$q' = q_р b$ — при односкатном поперечном профиле проезжей части;

$q' = 0{,}5\, q_р b$ — при двускатном;

b — ширина проезжей части, *м*;

$K_ф$ — коэффициент фильтрации уплотненного материала дренирующего слоя, *м/сутки*;

K_w — коэффициент влагопроводимости материала в капиллярной зоне, *м/сутки* (табл. 7);

$h_{нас}$ — высота уровня воды в дренирующем слое в начале пути фильтрации, *м*;

h_1' — высота капиллярно насыщенной зоны, в которой движется вода в начале фильтрационного потока, *м* (см. табл. 7);

h_2' — то же, в конце фильтрационного потока, *м* (см. табл. 7);

i — уклон основания дренирующего слоя, в долях единицы;

L — длина пути фильтрации, *м* (см. табл. 8);
m и m' — коэффициенты расхода потока свободной и капиллярной воды (см. табл. 9).

Таблица 8

Проезжая часть	Водоотводящие устройства	
	Дрены у краев проезжей части	Слой из фильтрующих материалов на всю ширину земляного полотна
	Длина пути фильтрации L, *м*	
Ширина 7—7,5 *м*, профиль двускатный	3,75—4	7,5
Ширина 7—7,5 *м*, профиль односкатный	8	10,5
Четырехполосная проезжая часть с двускатным профилем	8	10,5

Таблица 9

Высота уровня воды $h_{нас}$, *м*, в начале фильтрационного потока	Песок					
	средней крупности, одномерный		средней крупности, разнозернистый, и мелкий одномерный		мелкий разнозернистый	
	m	m^1	m	m^1	m	m^1
0,05—0,15	0,9—1,4	0,3 —0,5	0,9 —1,2	0,6—0,8	0,9 —1,2	0,6—0,8
0,16—0,3	0,6—0,9	0,15—0,3	0,65—0,9	0,3—0,6	0,75—0,9	0,4 - 0,6

Примечание. Бо́льшие значения коэффициентов m и m' соответствуют меньшим величинам $h_{нас}$.

По формуле (12) составлена номограмма, приведенная на рис. 20, упрощающая расчет дренирующего слоя. При расчете по этой номограмме, составленной для мелких и средней крупности песков, предварительно вычисляют отношение $q'/K_ф$. Затем при соответствующем поперечном уклоне i находят по номограмме на рис. 20 отношение 3,5 $h_{нас}/L$ (горизонтальная ось) и по нему при известной длине пути фильтрации L определяют величину $h_{нас}$. Полную толщину дренирующего слоя находят по формуле (11).

По формуле (12) и номограмме рис. 20 нетрудно определить также требуемое значение коэффициента фильтрации материала $K_ф$ при заданной толщине дренирующего слоя и известных других расчетных параметрах.

4.12. Дренирующий слой при продольных углубленных дренах (см. рис. 17), усиливающих движение воды, рассчитывают по следующей формуле:

$$K_ф = \frac{q_р L^2}{\Delta H (h_{нас} + \beta h_{зап})}, \qquad (13)$$

где $K_ф$ — коэффициент фильтрации, *м/сутки*;

L — наибольшая длина пути фильтрации по табл. 8, *м*;

$\Delta H = (h - h_0) + (L - b_1)\, i + h_{нас}$ — разность напоров, *м*;

i — поперечный уклон низа дренирующего слоя;

h_0 — глубина фильтрационного потока в дренирующем слое у продольной дрены (см. рис. 17); $h_0 = 0{,}03$ *м* для крупных и средней крупности песков; $h_0 = 0{,}05$ *м* для мелких песков;

b_1 и h — ширина (поверху) и глубина ровика до низа трубчатой дрены (см. рис. 17), *м*; при ширине проезжей части $b \leqslant 7$ *м* и мелких песках принимают $h \leqslant 0{,}5\ h_к$ ($h_к$ — высота капиллярного поднятия в песке), но не менее 0,20 *м* и при песках средней крупности $h \leqslant 0{,}8\ h_к$, но не менее 0,15 *м*; при $b > 7{,}0$ *м* значения h принимают равными $0{,}8\ h_к$, но не менее 0,35 *м* для мелкого песка и $h = h_к$, но не менее 0,25 *м* для песков средней крупности;

β — **коэффициент**, учитывающий расход воды в зоне капиллярного насыщения; для мелких песков $\beta = 0{,}3$, а для песков средней крупности $\beta = 0{,}4$.

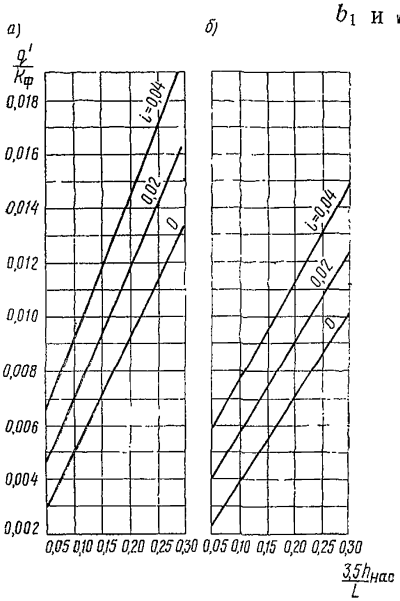


Рис. 20. Номограмма для расчета дренирующего слоя:
а — из мелкого песка; *б* — из песка средней крупности

По формуле (13) можно также найти величину $h_{нас}$. Полную толщину дренирующего слоя назначают по формуле (11).

4.13. Толщину дренирующего слоя $h_п$ исходя из необходимости *обеспечить временное размещение* воды в начальный период оттаивания определяют по формуле (14), основанной на сравнении суммарного объема воды, накапливающейся в основании дорожной одежды за период бездействия водоотводящих устройств, с объемом воды, который может разместиться в свободных порах дренирующего слоя:

$$h_п = h_{нас} + h_{зап} = \frac{1}{1 - \varphi_{зим}} \left(\frac{Q}{n} + h_{зап} - h'_{кап} \right), \qquad (14)$$

где $\varphi_{зим}$ — коэффициент заполнения влагой пор в материале дренирующего слоя к началу оттаивания (табл. 10):

Таблица 10

Толщина дренирующего слоя, *см*	Пористость материалов n			
	0,40	0,36	0,32	0,28
	Величина $\varphi_{зим}$			
До 20	0,40	0,50	0,60	0,70
20—40	0,35	0,40	0,50	0,60
>40	0,30	0,35	0,45	0,55

Примечание. В III дорожно-климатической зоне величину $\varphi_{зим}$ можно принимать равной 0,8 от значений, указанных в табл. 10;

$Q = q_р t_{зап}$ — количество воды, $м^3/м^2$, накопившейся в дренирующем слое за время запаздывания ($t_{зап}$) начала работы водоотводящих устройств;

$t_{зап}$ — в условиях II дорожно-климатической зоны составляет четверо-шестеро суток, в условиях III зоны — трое-четверо суток (бо́льшие значения для мелких песков);

n — пористость материала в уплотненном состоянии, доли единицы (мелкие пески 0,4—0,36, пески средней крупности 0,32—0,28, табл. 10);

$h'_{кап}$ — приведенная высота слоя капиллярной воды над уровнем свободной воды (для крупных песков около 0,05 *м*, для песков средней крупности и мелких 0,1 *м*).

4.14. Расчет на временное размещение воды не производят, если в дренирующем слое используются крупные пески или другие крупнозернистые материалы ($К_ф > 10$ *м/сутки*). Нет также необходимости в учете движения воды в зоне капиллярного насыщения. В этом случае расчет ведут по номограммам, приводимым на рис. 21, на своевременный отвод воды.

С помощью номограмм находят $h_{нас}$ при известных значениях $q_р$, $К_ф$ и L. При длине пути фильтрации, отличающейся от указанных на рис. 21, значения $h_{нас}$ определяют линейной интерполяцией или экстраполяцией для имеющейся величины L. Можно также определить необходимый коэффициент фильтрации при известном $h_{нас}$ и других параметрах.

Полную толщину дренирующего слоя устанавливают по формуле (111).

4.15. Требуемую водопропускную способность дренирующего слоя можно обеспечить различными путями: использованием дренирующего материала с необходимым коэффициентом фильтрации, изменением толщины дренирующего слоя, а также длины пути фильтрации и др. Поэтому в сложных случаях, чтобы выбрать материал для дренирующего слоя, приходится рассмотреть ряд вариантов.

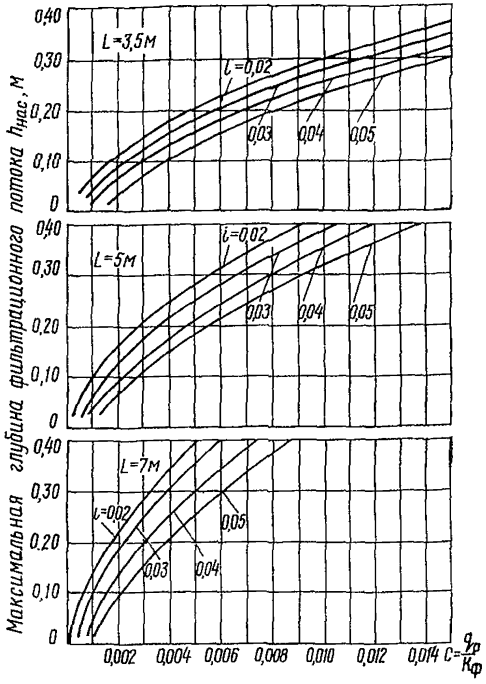


Рис. 21. Номограмма для расчета дренирующего слоя из крупных песков: L — длина пути фильтрации; i — уклон низа дренирующего слоя

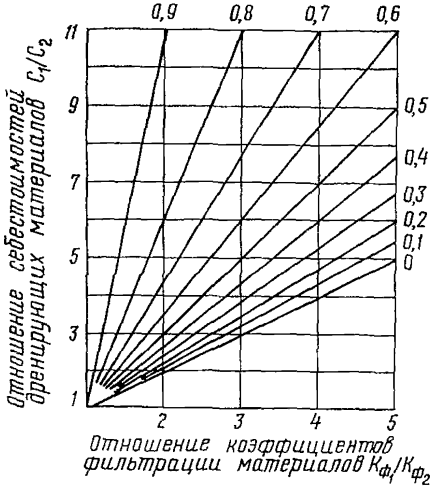


Рис. 22. Номограмма для выбора дренирующего материала (цифры у лучевых линий обозначают отношение $a'K'_{ф1}/q'$)

Для облегчения такого выбора составлена номограмма (рис. 22), позволяющая в первом приближении оценить целесообразность использования в дренирующем слое того или иного материала.

На горизонтальной оси отложено отношение коэффициентов фильтрации имеющихся материалов, а на вертикальной — отношение стоимостей этих материалов. Цифры у лучей обозначают величины

$$\frac{a' K_{ф1}}{q'},$$

где $K_{ф1}$ — больший (из сравниваемых) коэффициент фильтрации материала, *м/сутки;*

q' — приток воды (на 1 *м* ширины потока), *м³/сутки;*

a' — коэффициент, учитывающий степень крупности материала и величину уклона (табл. 11).

Область номограммы ниже луча, соответствующего имеющемуся значению $a'K_{ф1}$, указывает на целесообразность использования в рассматриваемых условиях материала 1, выше — материала 2.

Таблица 11

Песок (по СНиПу)	Уклон i	Величина коэффициента a'
Мелкий и средней крупности	0,00	0,0005
	0,02	0,0021
	0,04	0,0035
Крупный	0,00	0,0000
	0,02	0,0007
	0,04	0,0019

4.16. При проектировании особое внимание следует уделять участкам с вогнутыми переломами продольного профиля.

В сечении, где величина продольного уклона изменяется от большей к меньшей, накапливается вода из-за различной скорости ее притока и оттока.

Поэтому количество воды, поступающей за сутки в основание, на 1 $м^2$ проезжей части определяют по формуле

$$q_{\text{вогн}} = q_{\text{р}} K_{\text{пер}}, \tag{15}$$

а за весь срок запаздывания оттаивания водоотводящих устройств по формуле

$$Q_{\text{вогн}} = q_{\text{р}} K_{\text{пер}} t_{\text{зап}}, \tag{16}$$

где $q_{\text{р}}$ — объем воды, $м^3/м^2/сутки$;

$K_{\text{пер}}$ — коэффициент, характеризующий накопление воды у перелома продольного профиля.

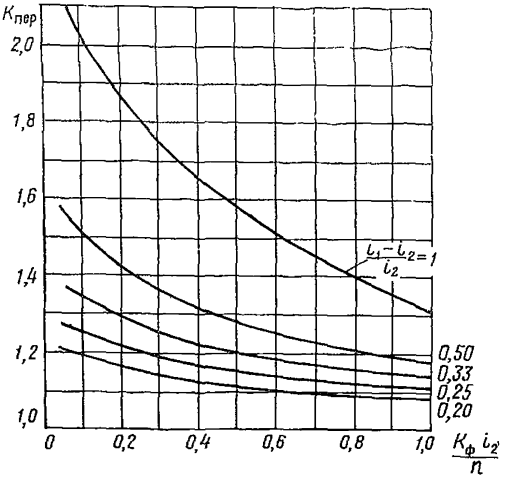


Рис. 23. Номограмма для определения коэффициента накопления воды в дренирующем слое в местах вогнутых переломов продольного профиля

Если уклоны у перелома профиля имеют одинаковое направление, коэффициент $K_{\text{пер}}$ определяют по номограмме на рис. 23. На

номограмме величина $K_{пер}$ дана в зависимости от отношений $\frac{i_1-i_2}{i_2}$ (кривые на номограмме) и $K_ф i_2/n$ (горизонтальная ось);

где n — пористость материала, в долях единицы;

i_1 и i_2 — продольные уклоны выше и ниже перелома продольного профиля.

Для перелома профиля со встречными уклонами коэффициент $K_{пер}$ определяют по формуле

$$K_{пер} = 1 + \frac{K_ф (t_{зап} + 1)}{2n} (i_1 + i_2). \quad (17)$$

Для определения $h_{нас.вогн}$ используют формулы (12), (13) и (14) или номограммы на рис. 20 и 21. При этом принимают $q' = q_{вогн} b$ или $q' = 0{,}5\, q_{вогн} b$; $q_р = q_{вогн}$ и $Q = Q_{вогн}$.

МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДОРОЖНОЙ КОНСТРУКЦИИ

4.17. При проектировании участков дорог, находящихся в неблагоприятных грунто-гидрогеологических и гидрологических условиях в районе сезонного промерзания наряду с требуемой прочностью должна быть обеспечена достаточная морозоустойчивость дорожной конструкции, для чего в случае необходимости предусматривают мероприятия по защите конструкции от вредного влияния воды и мороза.

4.18. Необходимая морозоустойчивость дорожной конструкции обеспечивается без специальных мероприятий:

в районах с малой глубиной промерзания (IV и V дорожно-климатические зоны);

при земляном полотне, сложенном на всю глубину промерзания *непучинистыми грунтами* (пески, супеси легкие крупные и т. п.);

в случаях когда толщина дорожной одежды, необходимая по условиям прочности, превышает $^2/_3$ глубины промерзания;

на местности 1-го типа по условиям увлажнения, исключая лишь участки с капитальными покрытиями на земляном полотне из пылеватых супесчаных грунтов.

Не требуются специальные мероприятия на дорогах с покрытиями переходного типа. В остальных случаях необходим расчет дорожной конструкции на морозоустойчивость.

4.19. К основным мероприятиям, способствующим обеспечению требуемой морозоустойчивости конструкции на участках с неблагоприятными грунтами и условиями увлажнения во II и III дорожно-климатических зонах, относятся:

достаточное возвышение поверхности покрытия над уровнем подземных вод;

применение возможно менее морозоопасных грунтов для сооружения земляного полотна;

устройство морозозащитных слоев из материалов, существенно не изменяющихся в объеме при промерзании в увлажненном состоянии;

применение теплоизолирующих материалов, снижающих глубину промерзания.

Целесообразное решение получают на основании сравнения вариантов.

4.20. Конструкции рассчитывают на морозоустойчивость на характерных участках или группах участков дороги, близких по грунтово-гидрогеологическим условиям, имеющих одинаковое покрытие, один и тот же тип земляного полотна, а также в равной мере обеспеченных местными строительными материалами.

Конструкция достаточно морозоустойчива, если удовлетворяется неравенство

$$(l_{\text{пуч}} + l_{\text{м з}}) \leqslant l_{\text{доп}}, \qquad (18)$$

где $l_{\text{доп}}$ — допускаемая величина зимнего вспучивания покрытия;

$l_{\text{пуч}}$ — расчетное (ожидаемое) пучение грунта земляного полотна;

$l_{\text{м.з}}$ — расчетное пучение материала морозозащитного слоя (в том случае, если материал морозозащитного слоя не вполне удовлетворяет требованиям, изложенным в п. 4.22).

4.21. Зимнее вспучивание существенно не влияет на ровность и долговечность дорожной одежды, если общая величина поднятия проезжей части в процессе промерзания не превышает величин, указанных в табл. 12.

Таблица 12

Тип покрытия	Допускаемое пучение $l_{\text{доп}}$, *см*
Цементобетонные	2
Асфальтобетонные	4
Усовершенствованные облегченные	6

4.22. Одним из основных мероприятий по предохранению конструкции от чрезмерного зимнего вспучивания является устройство верхней части земляного полотна из грунтов и материалов, не склонных к вспучиванию при промерзании. Для этого используют зернистые материалы: песок, гравий, щебень, шлаки, а в отдельных случаях — легкие супесчаные грунты. Если экономически целесообразно, могут быть использованы также грунты, укрепленные вяжущими, или гидрофобизированные грунты.

Общее требование к материалу для морозозащитных слоев — отсутствие в нем склонности к значительному льдонакоплению при замерзании в увлажненном состоянии (сохранение постоянного объема).

Этому обычно удовлетворяют зернистые материалы, содержащие более 75% частиц крупнее 0,10 *мм*, до 5% (по весу) частиц мельче 0,05 *мм* и имеющие коэффициент фильтрации при максимальной плотности по методу стандартного уплотнения не ниже 1 *м/сутки*. При использовании подобных материалов величина $l_{\text{м.з}}$ в расчет по формуле (18) не вводится.

Материалы, не удовлетворяющие указанным требованиям, используют только после испытания на морозоустойчивость (приложение 9). В этом случае вводимая в расчет величина $l_{м.з}$ принимается равной произведению толщины морозозащитного слоя на коэффициент пучения $K_{пуч}$ (в процентах), определяемый по приложению 9.

Для устройства морозозащитного слоя нельзя применять неморозостойкие каменные материалы, при разрушении которых образуется глинистая фракция (например, мергелистые известняки, глинистые сланцы и т. п.).

4.23. Ожидаемое зимнее вспучивание дорожной конструкции зависит от величины зимнего влагонакопления в грунте земляного полотна, которое является в основном функцией глубины и скорости промерзания, условий увлажнения конструкции, возвышения земляного полотна над поверхностью земли и уровнем подземных вод, свойств грунта и степени его уплотнения, толщины слоев из стабильных материалов.

При близком к поверхности залегания подземных вод (3-й тип местности по условиям увлажнения) величину вспучивания $l_{пуч}$ определяют по номограмме на рис. 24.

Величину ожидаемого пучения $l_{пуч}$ определяют при известных значениях параметров z, z_1, H, B, α_0.

С помощью номограммы на рис. 24 можно найти значение любого из перечисленных параметров при известных остальных. Так, общую толщину слоев из стабильных материалов z_1 определяют следующим образом. Вычисляют отношение $l_{пуч}\alpha_0/Bz$ (при $l_{пуч}=l_{доп}$), находят его значение на вертикальной оси номограммы, проводят горизонтальную прямую до пересечения с кривой, соответствующей z/H, и, перенося эту точку на горизонтальную ось, получают значение z_1/z, откуда, зная z, находят z_1.

Пользуясь номограммой, также можно найти необходимое возвышение конструкции H над расчетным уровнем подземных вод при заданном $l_{доп}$ и известном z_1.

4.24. Расчетные значения глубины промерзания z и расстояния до уровня подземных вод H определяют в соответствии с существующими инструктивными указаниями.

При отсутствии достоверных данных о глубине промерзания за расчетную может быть принята глубина промерзания по карте (рис. 25) с добавлением 0,5 *м*. Эта поправка вводится в связи с более глубоким промерзанием в пределах проезжей части дороги с одеждой по сравнению с промерзанием на оголенной от снега поверхности земли (изолинии глубины промерзания по карте).

Если для установления глубины промерзания используют карту (см. рис. 25)*, величину климатического показателя можно также назначать по карте изолиний α_0 (рис. 26).

---

* Изолинии глубин промерзания на карте рис. 25 нанесены по данным СНиПа, а для районов Средней Азии и Казахстана — на основании результатов исследований Казахского и Среднеазиатского филиалов Союздорнии.

При использовании данных непосредственных измерений глубин промерзания величину α_0 следует определять по формуле

$$\alpha_0 = \frac{z_п^2}{2T_з}, \qquad (19)$$

где $z_п$ — глубина промерзания по данным измерения, *см;*
$T_з$ — расчетная продолжительность зимнего периода, сутки.

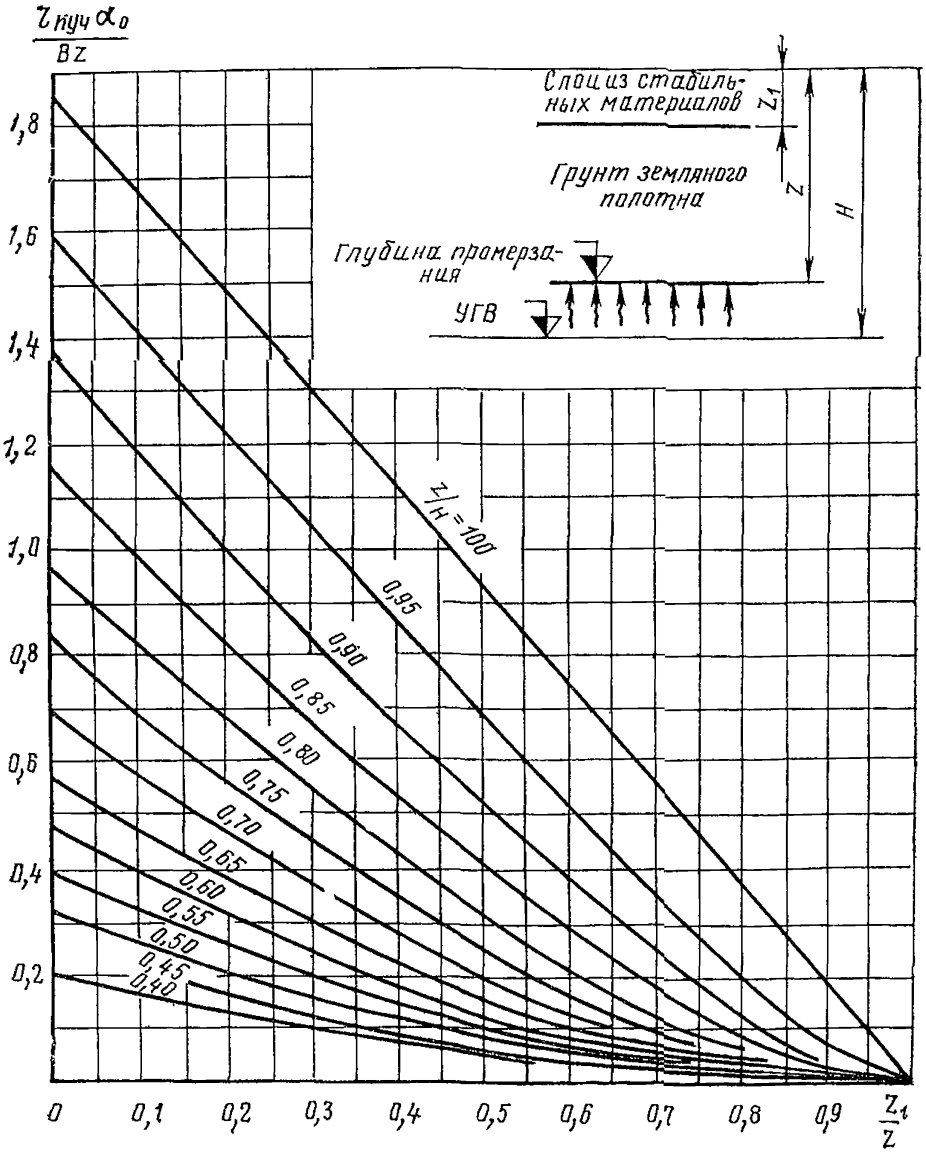


Рис. 24. Номограмма для расчета конструкций на морозоустойчивость:

z — расчетная глубина промерзания дорожной конструкции, *см;* H — расчетная глубина залегания уровня грунтовых вод в осенний период, считая от поверхности покрытия по оси проезжей части, *см;* z_1 — общая толщина слоев из стабильных материалов, включая дорожную одежду, *см;* B — комплексная характеристика свойств грунта, определяющая влагонакопление при промерзании (см. табл. 13), *см²/сутки;* α_0 — показатель, учитывающий особенности климатических условий, характеризующий режим и интенсивность промерзания, *см²/сутки*

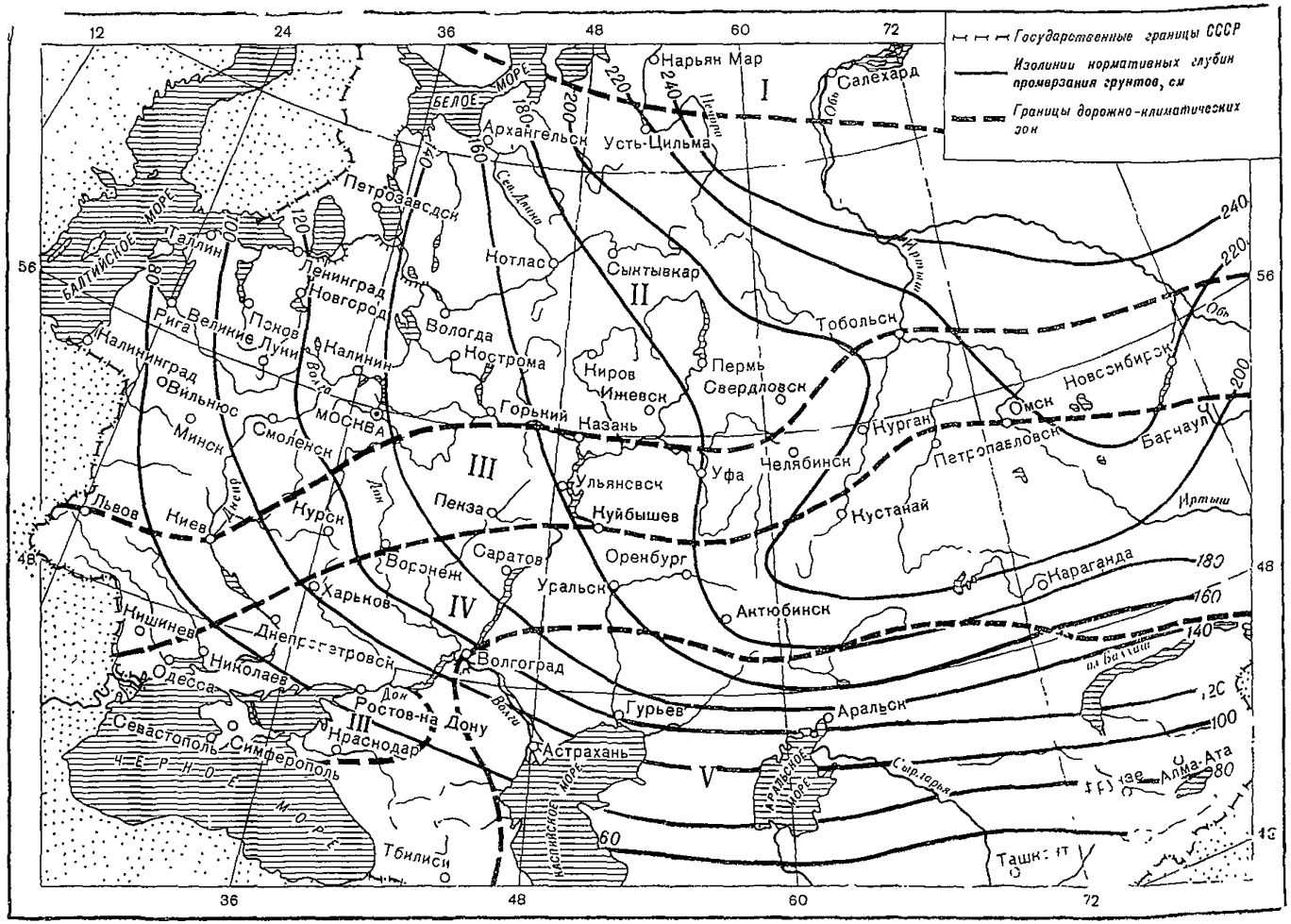
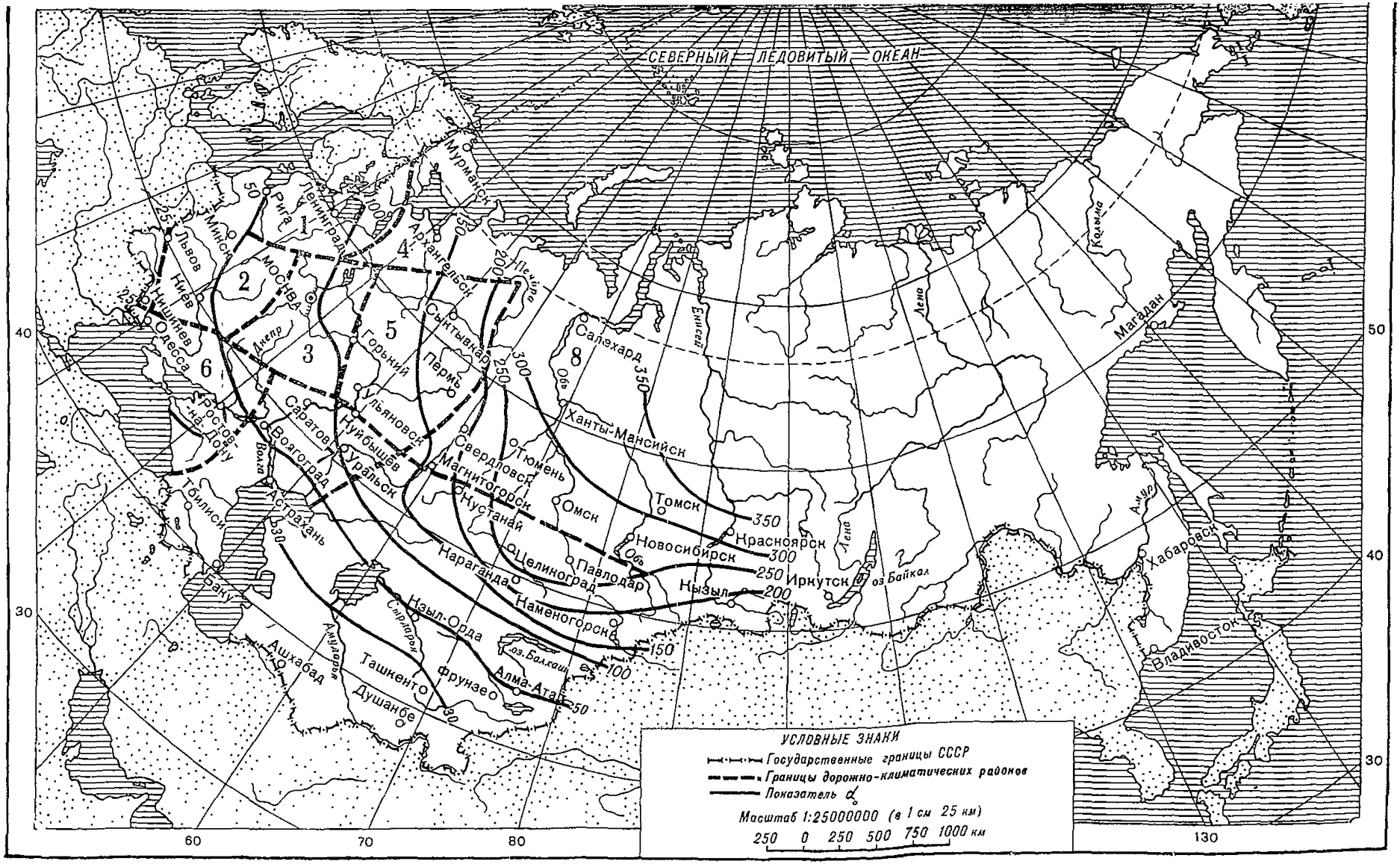


Рис. 25 Карта изолиний глубин промерзания грунтов на территории СССР, а также границ дорожно-климатических зон



СССР и границ климатических районов (крупными

Для европейской части СССР за продолжительность зимнего периода $T_з$ принимают количество суток с момента наступления осенью среднесуточных температур воздуха ниже минус 5° С до наступления весной периода с устойчивой температурой воздуха выше 0° С; для Зауралья, где климат более континентален и выше скорость промерзания, — с момента понижения температуры воздуха до минус 10° С в начале зимы до наступления устойчивой температуры воздуха 0° С весной.

Расчетные значения комплексной характеристики B свойств грунтов принимают, руководствуясь табл. 13.

Таблица 13

Грунт	Расчетная величина показателя B, $см^2/сутки$	Степень пучинистости в условиях 3-го типа местности
Песок мелкий (непылеватый), содержащий более 5% частиц мельче 0,05 *мм*	1,5—2	Слабопучинистые
Глина, суглинок легкий и тяжелый (непылеватый), супесь (непылеватая)	3 —3,5	Пучинистые
Супесь пылеватая, песок пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	4,0—4,5	Сильнопучинистые
Супесь тяжелая пылеватая, суглинок легкий пылеватый	5	Очень сильнопучинистые

Примечание. Значения показателя B получены расчетным путем на основании фактических данных о величине пучения дорожных конструкций на эксплуатируемых дорогах при известных значениях z, z_1, H, α_0.

Наиболее рациональными, отвечающими требованиям в отношении морозоустойчивости, являются дорожные конструкции в насыпях, когда обеспечивается необходимое по расчету возвышение поверхности покрытия над расчетным уровнем подземных вод.

На участках, где невозможно выполнить это условие (в населенных пунктах, выемках и т. п.), общая толщина слоев из стабильных материалов должна быть не менее $^2/_3$ глубины промерзания.

4.25. Получаемая по номограмме на рис. 24 толщина слоев из стабильных материалов z_1 относится к распространенным в дорожных одеждах материалам, близким по условиям теплопроводности к уплотненному щебню.

Чтобы учесть фактические теплотехнические свойства материалов, используемых в конструктивных слоях, следует вычислить общую толщину слоев из стабильных материалов, приведенную по условиям теплопроводности к уплотненному щебню, по формуле

$$z_{1\,\text{прив}} = h_1 \varepsilon_1 + h_2 \varepsilon_2 + h_3 \varepsilon_3 + \cdots, \qquad (20)$$

где h_1, h_2, h_3 — толщины конструктивных слоев из стабильных материалов;

ε_1, ε_2, ε_3 — эквиваленты теплотехнических свойств материалов по отношению к уплотненному щебню (табл. 14).

Таблица 14

Материал	Коэффициент теплопроводности λ_i, *ккал/м·ч·град*	Эквивалент по щебню $\varepsilon_i = \sqrt{\frac{\lambda_{щ}}{\lambda_i}}$
Цементобетон	1,8	0,8
Асфальтобетон	0,9	1,15
Щебень, обработанный вязким битумом	0,9	1,15
Щебеночное основание	1,2	1,0
Гравийное »	1,6	0,9
Песок	1,6	0,9
Шлак	0,3—0,5	1,8—1,4
Легкий супесчаный грунт	1,7	0,85

Примечание. Коэффициенты теплопроводности материалов зависят от плотности и влажности, а также от того, находится ли материал в мерзлом или талом состоянии; в таблице даны средние величины λ_i, которые могут быть использованы в расчетах, когда отсутствуют данные опыта.

4.26. На дорогах с усовершенствованными капитальными покрытиями при 2-м типе местности по условиям увлажнения толщину слоев из стабильных материалов определяют по формуле

$$z_1 = z - \frac{100\, l_{доп}}{K_{пуч}}, \qquad (21)$$

где z — расчетная глубина промерзания, *см* (п. 4.24);
$l_{доп}$ — допускаемая величина пучения, *см* (табл. 12);
$K_{пуч}$ — коэффициент пучения грунта, % (табл. 15).

Таблица 15

Грунт	Тип местности по условиям увлажнения и конструкция земляного полотна			
	1-й тип		2-й тип	
	насыпи	выемки	насыпи	выемки
	$K'_{пуч}$, %			
Глина, суглинок и супесь (непылеватая)	2	3	3	4,5
Суглинок тяжелый пылеватый	3,5	5	5	7,5
» легкий » и супесь пылеватая	3	4,5	4,5	7
Супесь тяжелая пылеватая	5	7,5	7,5	11
» легкая, песок пылеватый, песок мелкий	1	1,5	1,5	2

Примечание. Коэффициенты $K'_{пуч}$ даны при α_0=100. При других значениях α_0 величины $K_{пуч}$ находят из выражения

$$K_{пуч} = K'_{пуч}\, \frac{100}{\alpha_0}.$$

Формулой (21) можно пользоваться, если z не превосходит критической глубины ($z_{кр}$), разной для различных грунтов (табл. 16). В районах, где $z > z_{кр}$, в расчетную формулу (21) вместо z следует подставлять $z_{кр}$:

$$z_1 = z_{кр} - \frac{100\, l_{доп}}{K_{пуч}}. \qquad (21\text{ а})$$

Таблица 16

Номер климатического района (см. рис. 26)	Дорожно-климатическая зона и район	Глина, суглинок и супесь непылеватые	Суглинок тяжелый пылеватый	Супесь тяжелая пылеватая	Суглинок легкий, супесь пылеватая	Супесь легкая, песок пылеватый
		Критическая глубина промерзания $z_{кр}$, *см*				
	А. Европейская часть СССР					
	II зона					
1	Северо-Запад	160	140	130	120	80
2	Запад	120	120	120	120	80
3	Центр	150	140	130	120	80
4	Север	160	140	130	120	80
5	Северо-Восток и Восток	160	140	130	120	80
	III зона					
6	Юго-Запад	50	50	50	50	50
7	Юго-Восток	150	140	130	120	80
	Б. Азиатская часть СССР					
	II—III зоны					
8	Западная Сибирь	160	140	130	120	80
	I зона					
9	Восточная Сибирь	160	140	130	120	80

Морозозащитного слоя не требуется, когда из зависимостей (21) или (21а) следует, что $z_1 \leqslant 0$.

Получаемые по формуле (21) или (21а) толщины стабильных слоев относятся к материалам, характеризующимся эквивалентом по теплопроводности $\varepsilon_i = 1$ (табл. 14). При использовании иных материалов вычисляют приведенную толщину по формуле (20).

4.27. На дорогах 1-м типе местности по условиям увлажнения не наблюдается значительного влагонакопления и пучения, даже в районах с глубоким промерзанием. В этом случае толщина дорожной одежды, определяемая расчетом на прочность, обычно обеспечивает также и необходимую морозоустойчивость конструкции.

Однако на дорогах с капитальными покрытиями, если дорожная одежда подстилается пылеватыми супесями, следует проверять достаточность толщины стабильных слоев по уравнению (21) *или* (21а).

4.28. Дорожные одежды с усовершенствованными облегченными покрытиями при 2-м типе местности по условиям увлажнения

проверяют на морозоустойчивость только при наличии пылеватых супесчаных грунтов в основании. При остальных подстилающих грунтах толщины дорожных одежд, определенные расчетом на прочность, обеспечивают морозоустойчивость.

На морозоустойчивость не проверяют одежды с облегченными усовершенствованными покрытиями на местности 1-го типа.

4.29. Если толщина дорожной одежды в результате расчета на морозоустойчивость превышает толщину, определенную расчетом, на прочность, необходимо вновь рассчитывать конструкцию.

4.30. Морозозащитные слои чаще всего устраивают на всю ширину земляного полотна.

Морозозащитный слой из фильтрующих материалов обычно является и дренирующим элементом конструкции, поэтому он должен быть рассчитан также на своевременный отвод поступающей воды.

Чтобы избежать образование значительных сезонных неровностей на проезжей части, вызванных неравномерным поднятием, на концах участка с морозозащитным слоем его толщину следует постепенно уменьшать в продольном направлении с уклоном не круче 1 : 20.

Приложение 1. РАСЧЕТНЫЕ НАГРУЗКИ И ИНТЕНСИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

1. При расчете одежд на дорогах общей сети принимают расчетные нагрузки (табл. 1) в соответствии с ГОСТ 9314—59.

Таблица 1

Транспортные средства	Наибольшая статическая нагрузка на одиночную ось, *кГ*	Среднее расчетное удельное давление на покрытие *p*, *кГ/см²*	Площадь контакта колеса, *см²*	Расчетный диаметр следа колеса *D*, *см*
Автомобили:				
группа А	10 000	6	835	33
» Б	6 000	5	600	28
Автобусы:				
группа А	11 500	6	960	35
» Б	7 000	5	700	30

Нагрузки от транспортных средств группы А используют при расчете одежд на автомобильных дорогах I и II категорий общей сети Союза ССР, а также на автомобильных дорогах других категорий и городских дорогах, проезжая часть которых предусматривает пропуск транспортных средств этой группы.

Нагрузки группы Б используют при расчете одежд на остальных автомобильных дорогах общей сети Союза ССР.

В табл. 1 приведены нагрузки на дорогу, передаваемые колесами одиночной наиболее нагруженной оси при расстоянии между смежными осями 3 *м* и более. Если расстояние между осями менее 3 *м* ГОСТ предусматривает снижение нагрузок на ось: для автомобилей группы А — до 9000 *кГ* и для группы Б — до 5500 *кГ*.

У автомобилей-самосвалов на базе двухосных автомобилей группы Б нагрузка на ось может составлять 6500 *кГ*.

Расчетные нагрузки для автобусов и автомобилей-самосвалов принимают при количестве последних ориентировочно более 5% в составе движения.

2. Городские дороги проектируют на следующие нагрузки (СНиП II-К.3-70) (табл. 2):

Таблица 2

Параметр	Н-10	Н-30
Статическая нагрузка на ось, *кГ*	9 500	12 000
Среднее расчетное удельное давление на покрытие *p*, *кГ/см²*	5,5	6,0
Площадь контакта колеса, *см²*	864	1 000
Расчетный диаметр следа колеса *D*, *см*	33	36

а) скоростные дороги: проезжая часть скоростного движения Н-30, проезжая часть местного движения Н-10 или Н-30;

б) магистральные улицы общегородского значения Н-10 или Н-30, районного значения Н-10 или Н-30;

в) улицы и дороги местного движения: жилых кварталов Н-10, промышленных и складских районов Н-30, проезды Н-10.

Не следует при проектировании одежд на улицах с интенсивным автобусным движением принимать расчетные нагрузки ниже приведенных в табл. 1 для автобусов.

3. При проектировании дорог и улиц, к которым предъявляют специальные требования, могут быть приняты иные расчетные нагрузки при наличии соответствующего обоснования (табл. 3).

Таблица 3

Марки транспортных средств	Статическая наибольшая нагрузка на одиночную ось, T	Среднее расчетное удельное давление на покрытие p, $кГ/см^2$	Расчетный диаметр следа колеса D, $см$
1	2	3	4
Грузовые бортовые автомобили			
ГАЗ-52-03	3,9	4,0	25
ГАЗ-53А	5,6	4,3	29
Урал-377	5,5×2	3,9	30
ЗИЛ-130	6,9	5,0	30
МАЗ-516	9,0	5,5	33
МАЗ-500	10,0	5,5	34
КрАЗ-257	9,3×2	5,5	33
Самосвалы			
ГАЗ-53Б	5,6	4,3	29
ЗИЛ-ММЗ-555	6,6	5,3	28
МАЗ-503Б	9,4	5,5	33
КрАЗ-256Б	18.0	5,5	46
БелАЗ-540	32,4	5,0	64
БелАЗ-548А	44,5	5,0	75
Автобусы			
ПАЗ-652Б	4,9	4,5	26
ПАЗ-672	5,4	4,5	28
ЗИЛ-158В	6,8	3,5	34
ЛиАЗ-677	9,8	6,8	30
Автобусы ЛАЗ	6,9—7,5	5,0—6,75	30
Троллейбусы			
МТБ-82 и ЗИУ-7	8,7	5,7	31
ЗИУ-5 и ЗИУ-9	10,6	5,7	34

4. В табл. 4 даны коэффициенты для приведения автомобилей с различными нагрузками на ось к расчетному автомобилю.

Таблица 4

Расчетный автомобиль		Нагрузка на ось приводимого автомобиля, T							
		4	6	7	8	9,5	10	11,5	12
Группа (ГОСТ 9314—59) А	Грузовые автомобили	0,02	0,10	0,36	0,43	0,68	1,0	—	—
	Автобусы	0,01	0,05	0,18	0,21	0,34	0,5	1,0	—
Б	Грузовые автомобили	0,20	1,00	—	—	—	—	—	—
	Автобусы	0,06	0.50	1,00	—	—	—	—	—
По СНиП II-К.3-70	Н-30	0,01	0,05	0,18	0,22	0,35	0,5	0,8	1,0
	Н-10	0,03	0,15	0,55	0,65	1,00	—	—	—

Приложение 2. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГРУНТОВ

1. Когда в качестве критерия предельного состояния дорожной конструкции принимают достижение предельного равновесия при сдвиге в подстилающем одежду грунте, расчетными характеристиками последнего являются модуль упругости $E_{гр}$ и коэффициент Пуассона $\mu_{гр}$ (деформационные характеристики), а также параметры, определяющие сопротивление грунта сдвигу, — угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$ и удельное сцепление $c_{гр}$ (прочностные характеристики).

При расчете конструкции по величине упругого прогиба или общего модуля упругости расчетной характеристикой грунта является модуль упругости $E_{гр}$.

Расчетные характеристики грунтов устанавливают различными путями:

по результатам испытаний образцов грунта в лаборатории или непосредственно в конструкции при расчетном состоянии (см. приложения 5 и 6);

по таблицам, составленным на основании обобщения многочисленных испытаний грунтов;

обратным расчетом одежд на эксплуатируемых дорогах (см. приложение 8).

2. Прочностные и деформационные характеристики грунтов, особенно связных, сильно зависят от их влажности, плотности и структуры.

Водный режим земляного полотна определяется очень большим числом факторов. Состояние теории в этой области не позволяет пока (за отдельными исключениями) оценить влияние каждого из этих факторов в чрезвычайно разнообразных условиях на территории Советского Союза. В связи с этим при установлении расчетных влажностей приходится использовать главным образом результаты наблюдений за водно-тепловым режимом земляного полотна на эксплуатируемых дорогах.

В табл. 1 * обобщены имеющиеся в настоящее время данные о значении расчетных влажностей грунта в земляном полотне автомобильных дорог с усовершенствованными покрытиями. Приведенные значения расчетных влажностей действительны лишь в том случае, если земляное полотно соответствует нормативно-техническим требованиям СНиПа. В табл. 1 приведены наибольшие часто встречающиеся значения влажностей в данных дорожно-климатических зонах и условиях увлажнения местности. В дальнейшем их следует корректировать с учетом местных особенностей (микроклимат, свойства грунтов, условия водоотвода, наличие специальных мероприятий по регулированию водного режима и др.) на основе результатов систематических наблюдений на эксплуатируемых дорогах.

3. По климатическим условиям территория Советского Союза делится на дорожно-климатические зоны (табл. 2 приложения 2 и рис. 25 Инструкции).

Помимо деления СССР по климатическим условиям с севера на юг, следует учитывать, что при переходе с запада на восток климат становится более континентальным, уменьшается количество осадков и возрастает скорость промерзания, вследствие чего режим влажности земляного полотна в пределах одних и тех же зон оказывается более благоприятным. Расчетные влажности грунтов (см. табл. 1) приведены для западных областей каждой зоны, а также республик Средней Азии; для восточных областей, ориентировочно восточнее рек Северная Двина и Волга, значения расчетных влажностей могут быть снижены приблизительно на 5—10%.

4. Внутри каждой зоны отдельные участки дорог по характеру и степени увлажнения относятся к одному из трех типов местности (табл. 3).

Тип увлажнения местности устанавливают при изысканиях на основании оценки условий притока и отвода воды, положения уровня грунтовых вод и их режима, а также по признакам оглеения, заболоченности и типу растительности.

Необходимо иметь в виду, что значения расчетных влажностей грунта (см. табл. 1) даны для случаев, когда возвышение земляного полотна над уровнем грунтовых вод (на местности 3-го типа по условиям увлажнения) либо над поверхностью земли (на местности 1 и 2-го типов), а также плотность грунтов

---

* Таблица составлена по данным наблюдений и исследований Союздорнии и его Ленинградского, Среднеазиатского и Казахского филиалов, ХАДИ, МАДИ и ряда других организаций.

Таблица 1

Дорожно-климатические зоны (табл. 2)	Тип местности по условиям увлажнения (табл. 3)	Расчетные влажности (в долях от границы текучести $W_т$)		
		Супеси легкие непылеватые	Суглинки непылеватые, глины	Супеси пылеватые, суглинки пылеватые
II	1	0,70	0,75	0,80
	2	0,75	0,80	0,85
	3	0,80	0,85	0,90
III	1	0,65	0,70	0,75
	2	0,70	0,75	0,80
	3	0,70	0,75	0,80
IV	1	0,60	0,65	0,70
	2	0,65	0,70	0,75
	3	0,65	0,70	0,75
V	1	0,60	0,60	0,65
	2	0,60	0,65	0,70
	3	0,65	0,70	0,70

Примечания. 1. В рамку взяты условия, при которых обычно имеет место избыточное увлажнение, связанное с разуплотнением грунта при промерзании.

2. Расчетные влажности приведены при толщине дорожной одежды около 50 *см*. Если одежда (стабильный слой) имеет бо́льшую толщину, влагонакопление в верхней части земляного полотна, связанное с увеличением объема грунта (пучением) при промерзании (оконтуренные условия в табл. 1), происходит менее интенсивно вследствие большей величины пригрузки. В этих случаях расчетную влажность грунта определяют с помощью номограммы рис. 1.

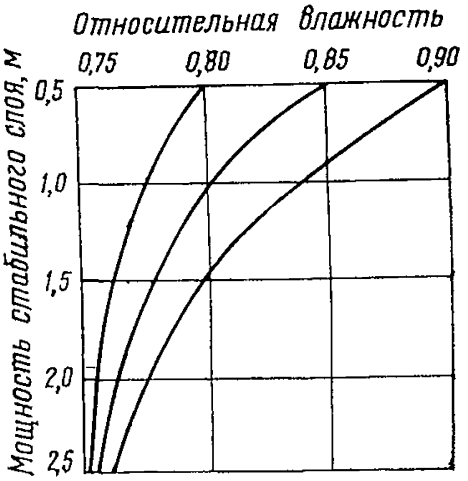


Рис. 1. Номограмма для определения расчетной влажности грунта в зависимости от мощности стабильного слоя

Пример. Для суглинка пылеватого во II дорожно-климатической зоне при 2-м типе местности по условиям увлажнения получена (по табл. 1) расчетная влажность $0{,}85W_т$. Мощность стабильного слоя составляет 1,0 *м*. В этом случае по номограмме расчетную влажность следует принять $0{,}8W_т$.

Таблица 2

Зона	Характеристика зоны	Примерные географические границы зоны
I	Зона вечной мерзлоты	Включает зоны тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны. Расположена севернее линии Мончегорск — Поной — Несь — Ошкурья — Сухая Тунгуска — Канск — Туран — Слюдянка — госграница СССР — Биробиджан — Де-Кастри
II	Зона избыточного увлажнения	Включает зону лесов к югу от границы I зоны до линии Львов — Житомир — Тула — Горький — Ижевск — Киштым — Томск — Канск и далее на участке Биробиджан — Де-Кастри южнее I зоны до границы с Китайской Народной Республикой, о. Сахалин и южная часть Камчатки
III	Зона значительного увлажнения в отдельные годы	Включает лесостепную зону к югу от II зоны до линии Кишинев — Кировоград — Белгород — Куйбышев — Магнитогорск — Омск — Бийск — Туран; Кубань и западная часть Северного Кавказа
IV	Зона недостаточного увлажнения	К югу от границы III до границы V зоны, включая степную зону
V	Зона засушливая	К юго-востоку от линии Джульфа — Степанакерт — Буйнакск — Кизляр — Волгоград и далее южнее на 200 *км* линии Уральск — Актюбинск — Караганда до северного побережья оз. Балхаш. Включает пустынную и пустынно-степную зоны с распространением засоленных грунтов

Примечание. Черноморское побережье, степи, Северного Кавказа, за исключением Кубани и западной части Северного Кавказа, относятся к IV зоне; горные области, расположенные выше 1000 *м*, над уровнем моря, а также малоизученные районы могут относиться к той или иной зоне в зависимости от местных природных условий, учитываемых в каждом отдельном случае.

Таблица 3

Тип местности по характеру и степени увлажнения	Условия увлажнения	Признаки
1	Сухие места без избыточного увлажнения	Поверхностный сток обеспечен, грунтовые воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов
2	Сырые места с избыточным увлажнением в отдельные периоды года	Поверхностный сток не обеспечен, но грунтовые воды не оказывают существенного влияния на увлажнение верхней толщи грунтов; почвы с признаками поверхностного заболачивания. Весной и осенью появляется застой воды на поверхности

Продолжение табл. 3

Тип местности по характеру и степени увлажнения	Условия увлажнения	Признаки
3	Места с постоянным избыточным увлажнением	Грунтовые воды или длительно стоящие (более 20 суток) поверхностные воды влияют на увлажнение верхней толщи грунтов; почвы торфяные, оглеенные, с признаками заболачивания, а также солончаки и постоянно орошаемые территории засушливых областей

Примечание. Может быть принято, что грунтовые воды практически не влияют на увлажнение почвогрунтов во II—III дорожно-климатических зонах, когда расстояние между уровнем грунтовых вод перед началом промерзания (осенью) и расчетной глубиной промерзания не менее указанных ниже величин: глины, суглинки тяжелые и пылеватые — 2,5 *м;* суглинки легкие и супеси тяжелые пылеватые — 1,5 *м;* супеси легкие непылеватые — 1 *м.*

в земляном полотне удовлетворяют требованиям СНиПа в соответствующих дорожно-климатических зонах.

При заниженном земляном полотне, особенно на местности 2-го и 3-го типов, необеспеченном водоотводе, а также в случае неудовлетворительного содержания дороги (несвоевременная и неправильная очистка от снега, отсутствие сброса дождевой и талой воды и т. д.) влажность грунта земляного полотна может значительно превышать величины, приведенные в табл. 1, достигая в районах с избыточным увлажнением 100% и более от границы текучести. В этих случаях неприменимы приводимые данные о величине расчетной влажности грунтов земляного полотна.

На участках насыпей, высота которых не менее чем в 2 раза превышает требуемое по СНиПу возвышение полотна над уровнем грунтовых вод или над поверхностью земли, расчетные влажности принимаются во всех случаях как для 1-го типа местности по условиям увлажнения.

5. Рекомендуемые расчетные значения прочностных и деформационных характеристик суглинистых и супесчаных грунтов земляного полотна в зависимости от относительной влажности в расчетный период (см. табл. 1) приведены в табл. 4.

Расчетные характеристики песков, а также легких крупных супесей мало зависят от влажности и принимаются постоянными, во всяком случае в интервале до полного насыщения грунта водой.

Приводимые в табл. 4 значения расчетных характеристик грунтов получены на основании обобщения данных, имеющихся в действующих нормативных документах; также учтены результаты специальных испытаний грунтов, проведенных в лабораториях и на дорогах.

Рекомендуемые величины модулей упругости грунтов представляют средние их значения, обычно встречающиеся в дорожных конструкциях, работающих в стадии обратимых деформаций. В этих условиях коэффициент Пуассона может быть принят равным 0,35.

Приводимые прочностные характеристики φ и c представляют собой часто встречающиеся минимальные значения этих показателей при том или ином состоянии грунта.

То обстоятельство, что в табл. 4 отсутствует деление на непылеватые и пылеватые разновидности супесчаных и суглинистых грунтов, не означает, что расчетные их характеристики одинаковы. Поскольку расчетные влажности для пылеватых разновидностей всегда выше (см. табл. 1), их расчетные характеристики будут во всех случаях ниже, чем непылеватых.

Все расчетные характеристики даны при плотностях грунтов, нормируемых *в дорожных конструкциях с усовершенствованными покрытиями. Исключением*

Таблица 4

Грунт	Характеристика грунта	Расчетная характеристика при относительной влажности $W_т$ (доли границы текучести)						
		0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9
Песок крупный и гравелистый	E, *кГ/см²*	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
	φ, *град*	43	43	43	43	43	43	43
Песок средней крупности	E, *кГ/см²*	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
	φ, *град*	40	40	40	40	40	40	40
Песок мелкий	E, *кГ/см²*	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
	φ, *град*	38	38	38	38	38	38	38
Песок пылеватый	E, *кГ/см²*	500	500	500	500	500	500	500
	φ, *град*	36	36	36	36	36	36	36
Супесь легкая крупная	E, *кГ/см²*	600	600	600	600	600	600	600
	φ, *град*	40	40	40	40	40	40	40
Супесь легкая (непылеватая)	E, *кГ/см²*	450	420	390	370	350	—	—
	φ, *град*	35	35	34	34	33	—	—
	c, *кГ/см²*	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	—	—
Супесь пылеватая, суглинки и глины	E, *кГ/см²*	600	420	340	280	240	210	200
	φ, *град*	24	21	18	15	13	11	10
	c, *кГ/см²*	0,32	0,26	0,19	0,15	0,10	0,07	0,05

Примечания. 1. Величина сцепления c в песчаном грунте и легкой крупной супеси зависит от наличия в них цементирующих веществ и принимается равной 0,05—0,08 *кГ/см²*, а при полном водонасыщении — равной нулю.

2. Если в супесчаных и суглинистых грунтах содержатся средние и крупные песчаные фракции, значение φ может достигать 30° и более и уточняется испытанием образцов.

являются характеристики грунтов с расчетной влажностью, превышающей (0,7÷0,75) $W_т$. Приведенные расчетные характеристики в этих случаях соответствуют плотности грунта, вычисленной по формуле (1) приложения 5 (т. е. плотности, при которой в грунте размещается все расчетное количество воды).

Приложение 3. РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ

1. В качестве деформационных характеристик дорожно-строительных материалов при расчетах дорожных одежд используют значения модулей упругости E и коэффициента Пуассона μ. Величины модулей упругости для большинства материалов получают путем испытания на полигонах, непосредственно в дорожных одеждах, а для отдельных материалов — по результатам испытания образцов в лаборатории (см. приложение 5).

Значение коэффициента Пуассона принимают среднее, часто встречающееся у распространенных дорожно-строительных материалов (μ=0,25).

2. При расчете одежд с усовершенствованными покрытиями, которые проектируют с учетом обеспечения работы конструкции в стадии обратимых деформаций, используют, кроме того, прочностные характеристики материалов.

В данном случае прочностными характеристиками являются:

для зернистых материалов, в которых отсутствуют прочные связи между частицами (щебеночные, гравийные, песчаные и т. п.), а также для материалов, обработанных жидкими битумами, — параметры, определяющие сопротивление сдвигу φ и c;

для монолитных материалов с достаточно прочными и невосстанавливающимися связями (смеси с цементом и другими вяжущими неорганического происхождения, с вязкими битумами)—сопротивление растяжению при изгибе $R_и$.

Значения параметров φ, c и $R_и$ получают на основании испытания образцов в лаборатории (см. приложение 6).

3. Величины деформационных и прочностных характеристик, приводимые в табл. 1, 2 и 3, представляют собой наименьшие, часто встречающиеся значения для материалов, соответствующих нормативно-техническим требованиям. Эти величины можно принять в качестве расчетных для распространенных условий. По мере накопления экспериментальных данных их следует уточнять и дифференцировать.

4. Модули упругости материалов без вяжущих, таких как щебеночные, гравийные и подобные им, а также материалов и грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими, сравнительно мало зависят от режима нагружения — скорости изменения и времени действия нагрузки.

В таблицах приведены расчетные значения модулей таких материалов, получаемые обычно как при статическом (так называемые длительные модули), так и при кратковременном нагружении (динамические модули).

5. Материалы, содержащие органические вяжущие, обладают ярко выраженными вязкими свойствами, их модули упругости также, как и прочностные характеристики, в значительной степени зависят от длительности действия нагрузки. Так, при действии нагрузки 0,1—0,2 *сек*, что приблизительно соответствует нагружению колесом движущегося автомобиля, динамические модули могут в 2—3 раза превышать длительные. Особенно это проявляется в плотных смесях, содержащих вязкие битумы. Приводимые в табл. 1 и 2 значения расчетных характеристик таких материалов учитывают особенности их работы в конструкции при кратковременном нагружении.

Значения расчетных характеристик асфальтобетона, укладываемого в горячем состоянии, даются в табл. 1 при разных расчетных температурах. При расчете на прочность всей дорожной конструкции следовало бы принимать минимальные значения модулей упругости асфальтобетона, соответствующие наиболее высоким температурам, возможным в расчетный период, а при расчете на прочность асфальтобетона — наиболее высокие значения его характеристик в этот период. Однако в целях упрощения расчета такого разделения не делается.

Таблица 1

Наименование характеристик	Расчетная температура, °С		
	+10	+20	+30
Модуль упругости E, *кГ/см²*			
верхний слой	15 000	10 000	7 000
нижний слой (без минерального порошка)	10 000	8 000	5 000
Предельное сопротивление растяжению при изгибе $R_и$, *кГ/см²*			
верхний слой	20	18	15
нижний слой (без минерального порошка)	12	11	10

Примечания. 1. Расчетные значения предельного сопротивления растяжению при изгибе необходимо умножить на коэффициент: при перспективной

интенсивности движения на полосу до 100 расчетных автомобилей в сутки — 1,3. от 100 до 500 авт./сутки — 1,15; от 500 до 1000 авт./сутки — 1,0; от 1000 до 5000 авт./сутки — 0,9, свыше 5000 авт./сутки — 0,8.

2. Если отсутствуют данные непосредственных наблюдений за температурой покрытия, можно принимать расчетные температуры асфальтобетона: во II дорожно-климатической зоне +10° С, в III зоне — +15° С, в IV и V зоне от 20 до 30° С.

В табл. 2 приведены расчетные характеристики монолитных битумоминеральных материалов и материалов, укрепленных неорганическими вяжущими.

Таблица 2

№ п/п	Материал конструктивного слоя	Модуль упругости E, $кГ/см^2$	Предельное сопротивление растяжению при изгибе $R_и$, $кГ/см^2$	Примечание
1	Подобранные смеси из щебеночных материалов, обработанных в установке вязкими битумами или дегтями	6 000—9 000	10—12	Меньшие значения в южных районах
2	То же, обработанные гравийные материалы	4 000—5 500	8—10	Меньшие значения в южных районах
3	Подобранные щебеночные и гравийные материалы, укрепленные портландцементом при количестве: 6—7%	5 000—7 000	3—4	Меньшие значения для гравийных, бо́льшие для щебеночных материалов
	4—5%	4 000—6 000	2—3	
4	Подобранные гравийные материалы, укрепленные добавками гранулированного шлака в количестве 30%	3 000	1,5	—
5	Малопрочные местные каменные материалы или отходы камнедробления (известняки, песчаники и др.) в смеси с супесью или песком, укрепленные портландцементом	3 000—4 000	2—3	В зависимости от количества скелетных фракций, прочности каменного материала и количества цемента в смеси
6	Легкие супеси и разнозернистые пески, укрепленные портландцементом	2 000—4 000	2—3	В зависимости от состава материала и количества цемента; верхние значения модулей упругости принимают в IV и V дорожно-климатических зонах
7	Суглинки и пылеватые супеси, укрепленные портландцементом	1 500—2 500	1,5—2	

Примечания. 1. Приведенные в пп. 1—2 значения характеристик можно использовать также для материалов, обработанных битумной эмульсией совместно с портландцементом.

2. Для указанных в пп. 3—6 материалов, укрепленных портландцементом с добавкой зол-уноса, используют те же расчетные значения характеристик, что и при укреплении портландцементом.

3. Значения расчетных характеристик в пп. 3—7 приведены для материалов, приготовленных в установках; при смешении на дороге значения характеристик снижают на 20—30%.

4. Количество вяжущего в смесях пп. 1—7 назначают с учетом необходимости обеспечить требуемую водо- и морозостойкость материала в условиях работы его в дорожной одежде.

5. При назначении расчетных характеристик минеральных материалов и грунтов, не указанных в таблице, руководствуются «Указаниями по применению в дорожном и аэродромном строительстве грунтов, укрепленных вяжущими материалами» (СН 25-72).

Расчетные характеристики естественных и обработанных органическими вяжущими материалов приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ п/п	Материал конструктивного слоя	Модуль упругости E, $кГ/см^2$	Параметры, определяющие сопротивление сдвигу		Примечание
			φ, град	c, $кГ/см^2$	
1	Слои из фракционированного щебня, обработанного вязким битумом или дегтем смешением в установке (открытые смеси):				
	1-го и 2-го классов	6 000—9 000	—	—	Бо́льшие значения в умеренном климате, меньшие — в южных районах
	3-го класса	5 000—6 000	—	—	
2	Слои из щебня 1-го и 2-го классов, обработанного вязким битумом или дегтем по способу пропитки	4 000—6 000	—	—	То же
3	Подобранные смеси из щебеночных и гравийных материалов с жидким битумом, дегтем или битумной эмульсией:				
	смешением в установке	3 000—5 000	—	—	Бо́льшие значения для щебеночных материалов и при обработке битумной эмульсией
	» на дороге	2 000—2 800	—	—	
4	Малопрочные местные каменные материалы и отходы промышленности в смеси с супесью или песком, обработанные жидким битумом, дегтем или битумной эмульсией	2 000—3 500	—	—	В зависимости от прочности материалов

Продолжение табл. 3

№ п/п	Материал конструктивного слоя	Модуль упругости E, $кГ/см^2$	Параметры, определяющие сопротивление сдвигу		Примечание
			φ, *град*	c, $кГ/см^2$	
					и гранулометрического состава, а также способа обработки; бóльшие значения при обработке битумной эмульсией и смешении в установке
5	Грунты, обработанные жидкими органическими вяжущими:				
	супесчаные непылеватые	1 500—2 500	25—35	0,2—0,35	Бóльшие значения при смешении в установке в районах с умеренным климатом и при обработке битумной эмульсией
	суглинистые и пылеватые супесчаные	800—1 500	15—25	0,2—0,35	
6	Щебеночные слои:				
	из фракционированного щебня 1—3-го классов сооружаемые по принципу заклинки	3 500—4 500	—	—	Бóльшие значения для пород, обладающих высокой способностью цементироваться, меньшие — при плохой способности
	из рядового щебня 1—4-го классов	2 000—2 500	—	—	В зависимости от прочности материала и способности цементироваться
7	Слои из шлаков 1—4-го классов, однородных по качеству с подобранным гранулометрическим составом:				
	активные шлаки	3 500—4 500	—	—	Бóльшие значения для шлаков устойчивой структуры
	малоактивные шлаки	2 000—3 000	—	—	
8	Каменные мостовые и пакеляж	4 000—5 000	—	—	Бóльшие значения при колотом камне, меньшие — при булыжном

Продолжение табл. 3

№ п/п	Материал конструктивного слоя	Модуль упругости E, $кГ/см^2$	Параметры, определяющие сопротивление сдвигу		Примечание
			φ, *град*	c, $кГ/см^2$	
9	Гравийные материалы, подобранные по составу, при содержании частиц крупнее 5 *мм* более 50% и частиц мельче 0,05 *мм* менее 7%	2 000—2 500	45	0,2—0,5	Бóльшие значения модуля упругости при крупном слабоокатанном гравии, меньшие — при сильноокатанном гравии средней прочности; бóльшие значения сцепления при влажности материала в конструкции не более 0,5 от полной влагоемкости
	То же, при содержании частиц крупнее 5 *мм* более 30% и частиц мельче 0,05 *мм* меньше 10%	1 500—2 000	35	0,2—0,5	
10	Дресва изверженных и осадочных пород и мелкий ракушечник	800	30—40	0,05—0,1	В зависимости от состава материала и содержания в нем цементирующих веществ

Примечания. 1. Расчетные характеристики материалов в пп. 3—5 даны при введении в смесь добавок активных и поверхностно-активных веществ; значения расчетных характеристик материала без этих добавок снижаются на 20%.

2. Количество вяжущего в материалах пп. 3—5 назначают исходя из необходимости обеспечить водо- и морозостойкость материала в имеющихся условиях.

3. Все материалы должны отвечать требованиям СНиП 1-Д.2-70 для соответствующих условий по морозостойкости.

Приложение 4. ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

ПРИМЕР 1

Требуется запроектировать конструкцию одежды с асфальтобетонным покрытием на участке дороги II категории во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные. Местность по условиям увлажнения относится к 1-му типу. Грунт земляного полотна — суглинок непылеватый. Материалы для строительства основания одежды — прочный известняковый щебень, гравийный материал.

Состав грузового движения на полосу с учетом перспективы:

Автомобили	с	нагрузкой	на	ось	10	*т*	.	.	.	1000 авт./сутки
»	»	»	»	»	7	»	.	.	.	800 »
»	»	»	»	»	6	»	.	.	.	500 »
»	»	»	»	»	4	»	.	.	.	200 »

Параметры расчетного автомобиля группы А (приложение 1): удельное давление на покрытие $p=6$ *кГ/см²*, расчетный диаметр следа колеса $D=33$ *см*.

Конструирование и расчет. 1. Исходя из эксплуатационных требований с учетом наличия и стоимости отдельных материалов, условий их транспортирования, принимая во внимание имеющуюся технику, намечают следующую конструкцию одежды: покрытие — двухслойный асфальтобетон, верхний слой основания — щебень, укрепленный 6% цемента способом смешения в установке, нижний слой основания — гравийный материал[1]. Приняты следующие расчетные характеристики материалов дорожной одежды, и грунта:

а) модуль упругости верхнего слоя асфальтобетона при 10° С — 15 000 *кГ/см²*, нижнего слоя — 10 000 *кГ/см²* (см. приложение 3); сопротивление растяжению при изгибе нижнего слоя асфальтобетона (при $N>1000$ авт./сутки на полосу движения) $R_и=12\cdot0{,}9=10{,}8$ *кГ/см²*;

б) модуль упругости щебеночного материала, укрепленного 6% цемента по способу смешения в установке, 6000 *кГ/см²*; сопротивление растяжению при изгибе — 3,5 *кГ/см²* (см. приложение 3);

в) характеристики сильноокатанного гравийного материала, содержащего частиц крупнее 5 *мм* — 60% и мельче 0,05 *мм* — 5%: модуль упругости — 2000 *кГ/см²*, угол внутреннего трения — 45°, сцепление — 0,2 *кГ/см²*;

г) расчетная относительная влажность грунта земляного полотна по табл. 1, приложения 2 составляет 0,75 $W_т$. При этой расчетной влажности модуль упругости грунта $E_{тр}=280$ *кГ/см²*, $\varphi=15°$, $c=0{,}15$ *кГ/см²* (табл. 4, приложение 2).

Расчетная приведенная интенсивность движения на полосу (табл. 4, приложение 1) $N_р=1000\cdot1{,}0+800\cdot0{,}36+500\cdot0{,}1+200\cdot0{,}02=1342$ авт./сутки.

2. Рассчитывают конструкцию по величине упругого прогиба. Требуемый модуль упругости (п. 3.10) $E_{тр}=2300$ *кГ/см²*, что превышает минимально необходимый в данных условиях модуль 1850 *кГ/см²* (п. 3.12). Подбирают слои так, чтобы $E_{общ}$ был близок к $E_{тр}$. Этому отвечает конструкция, расчет которой по величине упругого прогиба (пп. 3.13—3.15) приведен в табл. 1.

Таблица 1

Слой	Материал слоя	E, *кГ/см²*	h, *см*	$\frac{h}{D}$	Общий модуль упругости на поверхности слоев, *кГ/см²*
1	Асфальтобетон верхнего слоя	15 000	5	0,15	$E_{тр}\approx E_{общ}=2\,400$
2	Асфальтобетон нижнего слоя	10 000	8	0,24	$E'_{общ}=1\,950$
3	Щебень известняковый, укрепленный 6% цемента	6 000	17	0,52	$E''_{общ}=1\,440$
4	Гравийный материал	2 000	24	0,73	$E'''_{общ}=580$
5	Суглинок	280	—	—	—

3. Рассчитывают общую толщину одежды из условия, чтобы не переходил в запредельное по сдвигу состояние подстилающий одежду грунт (рис. 1, *а*).

Средний модуль упругости одежды вычисляют по формуле (3):

$$E_{ср}=\frac{15\,000\cdot5+10\,000\cdot8+6000\cdot17+2000\cdot24}{54}=5650\ кГ/см^2.$$

[1] В случае необходимости сравнивают возможные варианты.

Находят отношения:

$$\frac{E_{ср}}{E_{гр}} = \frac{5650}{280} = 20 \text{ и } \frac{h}{D} = \frac{54}{33} = 1{,}64.$$

Для этих условий при $\varphi_{гр}=15°$ с помощью номограммы на рис. 8 Инструкции находят $\tau_{а.м}/p=0{,}0127$, откуда активное напряжение сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}=0{,}0127 \cdot 6=0{,}076$ *кГ/см²*.

Активное напряжение сдвига от веса вышележащих слоев одежды по номограмме на рис. 10 Инструкции: $\tau_{а.в}=+0{,}003$ *кГ/см²*.

Полное активное напряжение сдвига $\tau_а=0{,}076+0{,}003=0{,}079$ *кГ/см²*.

Допускаемое активное напряжение сдвига в грунте вычисляют по формуле (7):

$$\tau_{а.доп} = \frac{1}{K_{пр}} K \kappa_2 c = \frac{1}{1{,}0} \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}65 \cdot 0{,}15 = 0{,}078 \text{ кГ/см}^2,$$

т. е. на 1% ниже фактического.

Согласно п. 3.28, не требуется корректировки толщин слоев одежды по условию сдвига в подстилающем грунте.

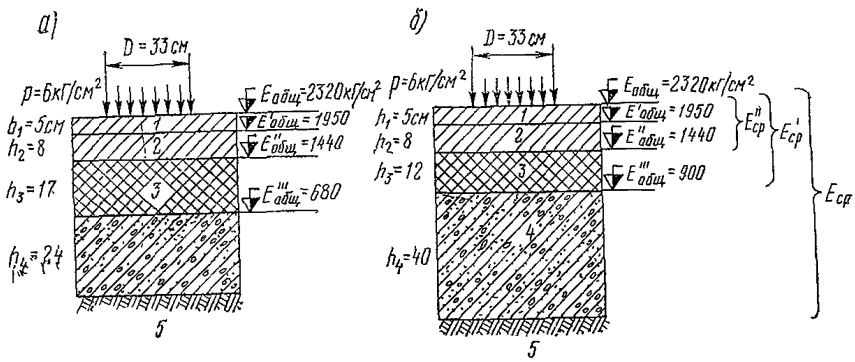


Рис. 1. Схема конструкции к примеру 1:

1 — асфальтобетон, $E_1=15\,000$ *кГ/см²*; *2* — то же, $E_2=10\,000$ *кГ/см²*; *3* — щебень + 6% цемента, $E_3=6000$ *кГ/см²*; *4* — гравийный материал, $\varphi_1=45°$, $c_1=0{,}2$ *кГ/см²*; $E_4=2400$ *кГ/см²*; *5* — суглинок, $\varphi_{гр}=15°$, $c_{гр}=0{,}15$ *кГ/см²*, $E_{гр}=280$ *кГ/см²*

4. Проверяют, удовлетворяется ли условие прочности в гравийном материале нижнего слоя основания. Для этого рассматривают двухслойную систему с верхним слоем толщиной 5+8+17=30 *см*, средним модулем упругости

$$E'_{ср} = \frac{15\,000 \cdot 5 + 10\,000 \cdot 8 + 6000 \cdot 17}{30} = 8\,570 \text{ кГ/см}^2$$

и с подстилающим полупространством, общий модуль упругости которого (поверхность гравийного слоя) $E'''_{общ}=680$ *кГ/см²* (см. табл. 1).

Максимальное активное напряжение сдвига в гравийном материале от временной нагрузки при $\frac{E'_{ср}}{E'''_{общ}} = \frac{8570}{680} = 12{,}6$; $\frac{h}{D} = \frac{30}{33} = 0{,}91$ и $\varphi = 45°$ по номограмме на рис. 6. Инструкции $\frac{\tau_{а.м}}{p} = 0{,}015$; $\tau_{а.м}=0{,}015 \cdot 6=0{,}090$ *кГ/см²*.

Активное напряжение сдвига от веса вышележащих слоев по номограмме на рис. 10 Инструкции $\tau_{а.в}=-0{,}025$ *кГ/см²*.

Полное активное напряжение сдвига в гравийном материале τ_a=0,090——0,025=0,065 *кГ/см²*.

Допускаемое активное напряжение сдвига

$$\tau_{а.доп} = \frac{1}{1,0} \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,20 = 0,104 \text{ кГ/см}^2.$$

Расчет показывает, что по условию сдвига в гравийном материале нижнего слоя основания имеется большой запас прочности.

5. Определяют величину растягивающих напряжений при изгибе в щебеночном материале, укрепленном цементом. Средний модуль упругости слоев, лежащих над рассчитываемым (двухслойное асфальтобетонное покрытие):

$$E''_{ср} = \frac{15\,000 \cdot 5 + 10\,000 \cdot 8}{13} = 11\,900 \text{ кГ/см}^2.$$

Общий модуль упругости в основании укрепленного цементом слоя (табл. 1): $E'''_{общ}$=680 *кГ/см²*.

Зная отношения: $\frac{E''_{ср}}{E_э} = \frac{11\,900}{6\,000} = 2;$

$$\frac{E_з}{E'''_{общ}} = \frac{6000}{680} = 8,8 \text{ и } \frac{h}{D} = \frac{30}{33} = 0,91,$$

по номограмме на рис 14 Инструкции находят $\bar{\sigma}_r$=0,45; отсюда σ_r= =1,15 · 6 · 0,45=3,1 *кГ/см²*, что в данном случае меньше допускаемого 3,5 *кГ/см²*.

Таким образом, расчеты показали, что можно уменьшить толщину слоя из щебня укрепленного цементом с одновременным утолщением нижнего слоя основания из гравийного материала (без изменения общего модуля упругости на поверхности конструкции).

6. Рассматривают следующую конструкцию (рис. 1, *б*): асфальтобетонное покрытие — 5+8 *см*, укрепленный цементом щебень — 12 *см*, гравийный материал — 40 *см*.

Повторные расчеты на сдвиг показывают, что в грунте земляного полотна в этом случае имеется небольшой запас, а в гравийном материале τ_a близко к $\tau_{а.доп}$.

Проверка показывает также, что растягивающее напряжение при изгибе в слое укрепленного цементом щебня близко к допускаемому 3,5 *кГ/см²*.

7. Рассчитывают величину максимального растягивающего напряжения при изгибе в нижнем слое асфальтобетонного покрытия (где растягивающие напряжения достигают наибольшей величины). Определяют $E''_{общ}$ — модуль упругости на поверхности укрепленного цементом слоя. Рассматривая последовательно смежные слои дорожной одежды, с помощью номограммы рис. 4 находят $E''_{общ}$=1440 *кГ/см²*. Средний модуль упругости асфальтобетонного покрытия уже был определен ранее: $E''_{ср}$=11 900 *кГ/см²*.

Вычисляют отношения

$$\frac{E''_{ср}}{E''_{общ}} = \frac{11\,900}{1440} = 8,3; \quad \frac{h}{D} = \frac{5+8}{33} = 0,39$$

и по номограмме на рис. 13 Инструкции находят $\bar{\sigma}_r$=1,63; σ_r=1,15 · 6 · 1,63= =11,2 *кГ/см²* при допускаемом растягивающем напряжении в нижнем слое асфальтобетона 10,8 *кГ/см²*. Расхождение не превышает 4%, что можно считать допустимым.

8. Общий модуль упругости дорожной конструкции уточнять не требуется, так как модули упругости на поверхности укрепленного цементом щебеночного

слоя принятого варианта и варианта, рассчитанного ранее (табл. 1), равны, а толщины слоев покрытия не меняли.

9. Расчеты показывают, что условиям прочности в данном случае удовлетворяют конструкции с толщиной слоя из укрепленного цементом щебня от 12 до 17 *см* и толщиной слоя из гравийного материала соответственно от 40 до 24 *см*. Наиболее целесообразную конструкцию выбирают на основе технико-экономического сравнения.

10. Поскольку одежда проектируется в относительно благоприятных грунтовых и гидрогеологических условиях (табл. 1, приложение 2), поступления воды в основание одежды из подстилающего грунта в весенний период ожидать не приходится. Для отвода из гравийного слоя воды, проникающей с поверхности, следует предусмотреть сплошной слой из фильтрующего материала под обочинами либо трубчатые дрены. Не требуется также проверка конструкции на морозоустойчивость в 1-м типе местности по условиям увлажнения при суглинистом подстилающем грунте (раздел 4).

ПРИМЕР 2

Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на участке дороги II категории во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные. Местность по условиям увлажнения относится к 3-му типу; грунт земляного полотна — суглинок тяжелый непылеватый. Материалы для сооружения — основания — гранитный щебень и среднезернистый песок.

Состав грузового движения на полосу с учетом перспективы:

| | | |

покрытием $l_{пуч}=4$ *см* (см. табл. 12). Расчетная глубина залегания грунтовых вод на участке $H=200$ *см*,

$$\text{тогда } \frac{l_{пуч}\alpha_0}{Bz}=\frac{4\cdot 100}{3\cdot 185}=0{,}72 \text{ и } \frac{z}{H}=\frac{185}{200}=0{,}93.$$

По этим данным на номограмме рис. 24 находят $z_1/z=0{,}44$, откуда необходимая толщина стабильного слоя (применительно к теплопроводности щебеночного материала) составляет $z_1=0{,}44\,z=0{,}44\cdot 185=82$ *см*.

Намечают предварительно следующую конструкцию одежды: двухслойный асфальтобетон — 5+8 *см*, щебень — 20 *см*, песок — 50 *см*.

Расчетная влажность подстилающего одежду грунта (тяжелый суглинок) во II дорожно-климатической зоне на местности 3-го типа по условиям увлажнения *согласно табл. 1 приложения 2 составляет 0,85* $W_т$. *Принимая во внимание*, что общая толщина одежды в данном случае около 85 *см*, в соответствии с примечанием 2 к табл. 1 приложения 2 должна быть внесена поправка по номограмме рис. 1 приложения 2. С учетом поправки расчетная относительная влажность должна быть принята около 0,81 $W_т$. При этом расчетный модуль упругости подстилающего грунта составит 235 *кГ/см*^{2}, $\varphi_{гр}=12{,}5^\circ$ и $c_{гр}=0{,}095$ *кГ/см*^{2}

3. Рассчитывают конструкцию по величине упругого прогиба.

Требуемый модуль упругости одежды по номограмме рис. 2 $E_{тр}=2380$ *кГ/см*^{2}. Общий модуль упругости конструкции, намеченной исходя из условия обеспечения морозоустойчивости, рассчитан в табл. 2.

Таблица 2

Слой	Материал слоя	E, *кГ/см*^{2}	h, *см*	$\frac{h}{D}$	Общий модуль упругости на поверхности слоев, *кГ/см*^{2}
1	Асфальтобетон верхнего слоя	15 000	5	0,15	$E_{общ}=2400$
2	Асфальтобетон нижнего слоя	10 000	8	0,24	$E'_{общ}=2020$
3	Щебень гранитный	4 500	20	0,61	$E''_{общ}=1500$
4	Песок среднезернистый	1 200	50	1,51	$E'''_{общ}=720$
5	Грунт — суглинок тяжелый	235			

4. Рассчитывают намеченную конструкцию по условию сдвига в подстилающем грунте.

Средний модуль упругости одежды:

$$E_{ср}=\frac{15\,000\cdot 5+10\,000\cdot 8+4\,500\cdot 20+1200\cdot 50}{83}=3680 \text{ кГ/см}^2;$$

$$\frac{E_{ср}}{E_{гр}}=\frac{3680}{235}=15{,}7;\quad \frac{h}{D}=\frac{83}{33}=2{,}52.$$

По номограмме на рис. 8 Инструкции находят $\tau_{а.м}/p=0{,}0080$, откуда $\tau_{а.м}=0{,}0080\cdot 6=0{,}048$ *кГ/см*^{2}. Составляющая от веса одежды $\tau_{а\,в}=+0{,}009$ *кГ/см*^{2};

Полное активное напряжение сдвига в грунте $\tau_а=0{,}048+0{,}009=0{,}057$ *кГ/см*^{2}.

Допускаемое активное напряжение сдвига $\tau_{а.доп}=0{,}8\cdot 0{,}65\cdot 0{,}095=0{,}049$ *кГ/см*^{2}, что на 16,5% меньше расчетного. Дорожную одежду необходимо усилить.

Учитывая, что толщина песчаного слоя составляет 50 *см* и дальнейшее значительное его утолщение вряд ли рационально, принимают решение увеличить толщину щебеночного слоя. Согласно номограмме рис. 9, для снижения актив-

ного напряжения сдвига в грунте на 16,5% необходимо увеличить толщину щебеночного слоя на

$$\Delta h = \frac{0{,}165}{0{,}022} = 7 \text{ см}.$$

Для дальнейшего расчета принимают следующую конструкцию дорожной одежды (рис. 2): верхний слой асфальтобетона — 5 *см*, нижний слой — 8 *см*, щебень — 27 *см*, песок — 50 *см*. Для этой конструкции $\tau_а = 0{,}051$ при $\tau_{а.доп} = 0{,}049$, т. е. перенапряжение всего 4%, что можно допустить.

5. Проверяют, удовлетворяется ли условие прочности в песке подстилающего слоя.

Средний модуль упругости слоев, лежащих выше песчаного:

$$E'_{ср} = \frac{15\,000 \cdot 5 + 10\,000 \cdot 8 + 4\,500 \cdot 27}{40} = 6900 \text{ кГ/см}^2.$$

Общий модуль упругости на поверхности песчаного слоя (см. табл. 2) $E'''_{общ} = 720$ *кГ/см*^{2}. Максимальное активное напряжение сдвига в песке подстилающего слоя от временной нагрузки

$$\frac{E'_{ср}}{E'''_{общ}} = \frac{6900}{720} = 9{,}6 \text{ и } \frac{h}{D} = \frac{40}{33} = 1{,}21$$

по номограмме рис. 9 (песчаный материал в основании) $\tau_{а.м}/p = 0{,}0039$, откуда $\tau_{а.м} = 0{,}0039 \cdot 6 = 0{,}0234$ *кГ/см*^{2}. Активное напряжение сдвига от собственного веса (номограмма рис. 10 Инструкции) $\tau_{а.в} = -0{,}028$ *кГ/см*^{2}. Полное активное напряжение сдвига $\tau_а = 0{,}0234 - 0{,}028 = -0{,}0046$ *кГ/см*^{2}. Знак «минус» у $\tau_а$ указывает на наличие значительного запаса прочности в песке подстилающего слоя.

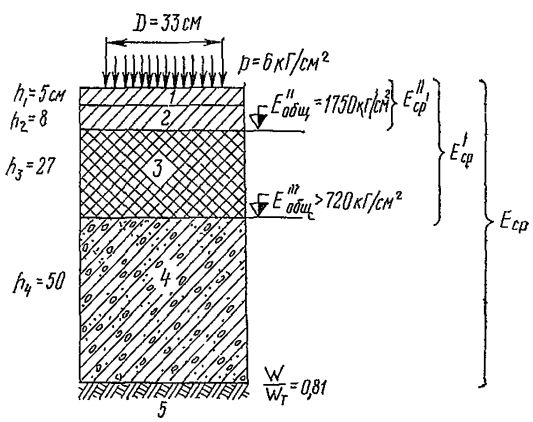


Рис. 2. Схема конструкции к примеру 2:

1 — асфальтобетон, $E_1 = 15\,000$ *кГ/см*^{2}; *2* — то же, $E_2 = 10\,000$ *кГ/см*^{2}; $R_и = 10{,}8$ *кГ/см*^{2}; *3* — гранитный щебень, $E_3 = 4500$ *кГ/см*^{2}; *4* — среднезернистый песок, $E_4 = 1200$ *кГ/см*^{2}, $\varphi_4 = 40°$, $c_4 = 0{,}05$ *кГ/см*^{2}; *5* — суглинок, $E_{гр} = 235$ *кГ/см*^{2}, $\varphi_{гр} = 12{,}5°$, $c_{гр} = 0{,}095$ *кГ/см*^{2}

Таким образом, может быть уменьшена толщина вышележащих слоев (в частности, слоя щебня) с одновременным увеличением толщины песчаного слоя, если это по местным условиям оказывается целесообразным. Можно также использовать в подстилающем слое менее прочный материал, например мелкий песок.

6. Щебеночный материал на сдвиг не рассчитывают, так как правильно построенные слои из прочного фракционированного щебня достаточно хорошо себя зарекомендовали в качестве оснований.

7. Проверяют, не превышает ли максимальное растягивающее напряжение в асфальтобетоне допускаемого из условия сохранения сплошности материала покрытия.

С помощью номограммы на рис. 4 Инструкции находят модуль упругости на поверхности щебеночного основания $E''_{общ}=1750$ *кГ/см²*. Вычисляют средний модуль упругости двухслойного асфальтобетонного покрытия:

$$E'_{ср}=\frac{15\,900\cdot 5+10\,000\cdot 8}{13}=11\,900\ кГ/см^2,$$

тогда при $\frac{E''_{ср}}{E''_{общ}}=\frac{11\,900}{1750}=6{,}8$ и $\frac{h}{D}=\frac{13}{33}=0{,}39$

по номограмме на рис. 13 Инструкции находят $\bar{\sigma}_r=1{,}45$; $\sigma_r=1{,}15\cdot 1{,}45\cdot 6{,}0=10{,}0$ *кГ/см²* при допустимом растягивающем напряжении в нижнем слое асфальтобетона $R_и=10{,}8$ *кГ/см²*.

8. Вычислять общий модуль упругости на поверхности покрытия нет необходимости, так как он будет заведомо больше требуемого.

9. Проверяют, обеспечивается ли морозоустойчивость дорожной конструкции.

Выше была получена необходимая толщина стабильного слоя применительно к теплопроводности щебеночного материала 82 *см*. Фактическая толщина стабильного слоя, эквивалентная по теплопроводности щебеночному материалу (п. 4.25 табл. 14) $z_1=(5+8)\ 1{,}15+27\cdot 1{,}0+50\cdot 0{,}9=87$ *см*.

Таким образом обеспечивается морозоустойчивость конструкции.

10. Проверяют, обеспечивается ли размещение и отвод всей воды, поступающей в основание дорожной одежды. Расчетный приток воды в дренирующий слой (п. 4.8)

$$q_р=q\frac{к_п к_т}{1000}=4\frac{1{,}6\cdot 1}{1000}=0{,}0064\ м^3/м^2/сутки.$$

Поскольку используемый в подстилающем слое среднезернистый песок обладает коэффициентом фильтрации более 4 *м/сутки*, расчет толщины дренирующего слоя ведут согласно пп. 4.10, 4.13. Дренирующий слой укладывают на всю ширину земляного полотна.

Расчетные параметры: $\varphi_{зим}=0{,}45$; $t_{зап}=5$ суток; $Q=0{,}0064\cdot 5=0{,}032\ м^3/м^2$; $h_{зап}=0{,}14\ м$; $h'_{кап}=0{,}1\ м$.

Необходимая толщина дренирующего слоя определяется по формуле (14):

$$h_п=\frac{1}{1-0{,}45}\left(\frac{0{,}032}{0{,}32}+0{,}14-0{,}10\right)=0{,}26\ м.$$

Таким образом, толщина песчаного слоя 50 *см*, запроектированная по условиям прочности и морозоустойчивости, вполне обеспечивает размещение всей поступающей в период оттаивания воды. Толщина дренирующего слоя под обочинами может быть принята 30 *см*.

ПРИМЕР 3

Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием на городской скоростной дороге.

Исходные данные. Дорожно-климатическая зона — III. Поскольку имеется ливневая канализация, а грунтовые воды находятся на большой глубине, местность по условиям увлажнения следует отнести к 1-му типу. Грунт земляного полотна — суглинок тяжелый пылеватый. Материалы для сооружения основания — щебень известняковый и крупнозернистый песок.

Состав грузового движения с учетом перспективы:

Автомобили	с нагрузкой	на ось	12 *Т*	500	авт/сутки на полосу
»	»	»	10 »	720	» » » »
»	»	»	7 »	1700	» » » »
»	»	»	4 »	2200	» » » »

В соответствии с приложением 1 в качестве расчетного принят автомобиль по схеме Н-30. Параметры расчетного автомобиля (табл. 2, приложение 1): удельное давление на покрытие p=6 *кГ/см*², расчетный диаметр следа колеса D=36 *см*.

Конструирование и расчет. 1. Принимая во внимание тяжелое движение и высокие эксплуатационные требования к скоростной дороге, намечают следующую конструкцию одежды: двухслойное асфальтобетонное покрытие укладывается на щебеночное основание, верхний слой которого устраивают из подобранной щебеночной смеси, обработанной вязким битумом в установке (монолитный материал); подстилающий слой — крупнозернистый песок.

Расчетные характеристики материалов и грунта следующие:

а) модули упругости асфальтобетона приняты 15° С (III дорожно-климатическая зона) равными для верхнего слоя 12 500 *кГ/см*², для нижнего слоя — 9000 *кГ/см*² (приложение 3). Сопротивление растяжению при изгибе материала нижнего слоя асфальтобетонного покрытия при интенсивности движения более 1000 авт./сутки на полосу $R_п$=0,9 · 11,5=10,4 *кГ/см*²;

б) модуль упругости подобранного щебеночного материала, обработанного вязким битумом в установке E_3=8000 *кГ/см*², $R_и$=10 *кГ/см*²;

в) модуль упругости известнякового щебня E_4=4000 *кГ/см*²;

г) расчетные характеристики крупнозернистого песка по табл. 4 приложения 2: модуль упругости E_5=1300 *кГ/см*² φ_5=43°; c_5=0,05 *кГ/см*²;

д) расчетная относительная влажность подстилающего одежду грунта согласно табл. 1 приложения 2 составляет 0,75 $W_т$; $E_{гр}$=280 *кГ/см*²; $\varphi_{гр}$=15°; $c_{гр}$=0,15 *кГ/см*².

2. Вычисляют расчетную интенсивность движения $N_р$=500 · 1,0+720 · 0,5+ +1700 · 0,18+2200 · 0,01=1188 авт./сутки на полосу.

3. Рассчитывают одежду по величине упругого прогиба. Требуемый модуль упругости конструкции (п. 3.11) $E_{тр}$=2450 *кГ/см*², что выше минимально необходимого модуля 2250 *кГ/см*² (п. 3.12).

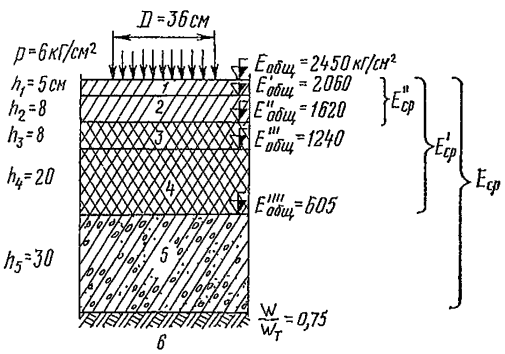


Рис. 3. Схема конструкции к примеру 3:
1—асфальтобетон, E_1=12 500 *кГ/см*²; *2*— то же, E_2=9000 *кГ/см*²; $R_и$=10,4 *кГ/см*²; *3* — щебеночный материал, обработанный битумом, E_3=8000 *кГ/см*²; $R_и$ = 10 *кГ/см*²; *4* — щебень известняковый, E_4=4000 *кГ/см*²; *5* — песок крупнозернистый, E_5=1300 *кГ/см*², φ_5=43°, c_5= =0,05 *кГ/см*²; *6* — суглинок пылеватый. $E_{гр}$=280 *кГ/см*², $\varphi_{гр}$=15°, $c_{гр}$=0,15 *кГ/см*²

Подбирают толщины слоев одежды так, чтобы общий модуль упругости на поверхности покрытия был близок $E_{тр}$. Этому условию отвечает конструкция, представленная на рис. 3. Расчет ее приводится в табл. 3.

4. Определяют, не достигается ли предельное равновесие по сдвигу в подстилающем одежду грунте.

Средний модуль упругости одежды:

$$E_{ср} = \frac{12\,500 \cdot 5 + 9000 \cdot 8 + 8000 \cdot 8 + 4000 \cdot 20 + 1300 \cdot 30}{71} = 4460 \text{ кГ/см}^2.$$

$$\text{Отношения: } \frac{E_{ср}}{E_{гр}} = \frac{4460}{280} = 16; \quad \frac{\Sigma h}{D} = \frac{71}{36} = 1{,}97.$$

Таблица 3

Слой	Материал слоя	E, кГ/см²	h, см	$\frac{h}{D}$	Общий модуль упругости на поверхности слоев, кГ/см²
1	Асфальтобетон, верхний слой	12 500	5	0,14	$E_{общ}=2450$
2	Асфальтобетон, нижний слой	9 000	8	0,22	$E'_{общ}=2060$
3	Подобранный щебеночный материал, обработанный битумом	8 000	8	0,22	$E''_{общ}=1620$
4	Щебень известняковый	4 000	20	0,56	$E'''_{общ}=1240$
5	Песок крупнозернистый	1 300	30	0,83	$E''''_{общ}=605$
6	Грунт — суглинок пылеватый	280	—	—	

По этим данным с помощью номограммы на рис. 8 Инструкции при $\varphi_{гр}=15°$ находят $\tau_{а.м}/p=0{,}011$; активное напряжение сдвига от временной нагрузки $\tau_{а.м}=0{,}011\cdot 6=0{,}066$ кГ/см².

Активное напряжение сдвига от веса вышележащих слоев одежды (по номограмме на рис. 10 Инструкции) $\tau_{а.в}=+0{,}004$ кГ/см².

Полное активное напряжение сдвига:

$$\tau_а=0{,}066+0{,}004=0{,}070 \text{ кГ/см}^2.$$

Допускаемое активное напряжение сдвига в грунте:

$$\tau_{а.доп}=\frac{1}{K_{пр}}K\kappa_2 c_{гр}=\frac{1}{1{,}0}\cdot 0{,}8\cdot 0{,}65\cdot 0{,}15=0{,}078 \text{ кГ/см}^2.$$

Таким образом, активное напряжение сдвига в грунте близко к допускаемому.

5. Определяют, не достигается ли предельное напряженное состояние в песке подстилающего слоя.

Средний модуль упругости слоев, лежащих выше песчаного:

$$E'_{ср}=\frac{12\,500\cdot 5+9000\cdot 8+8000\cdot 8+4000\cdot 20}{41}=6780 \text{ кГ/см}^2.$$

Модуль упругости на поверхности песчаного слоя (табл. 3) $E'''_{общ}=605$ кГ/см².

Вычисляют отношения:

$$\frac{E'_{ср}}{E'''_{общ}}=\frac{6780}{605}=11{,}2 \quad \text{и} \quad \frac{h}{D}=\frac{5+8+8+20}{36}=1{,}14.$$

Активное напряжение сдвига в песчаном слое от временной нагрузки рассчитывают с помощью номограммы на рис. 9 Инструкции $\tau_{а.м}/p=0{,}0035$, отсюда $\tau_{а.м}=0{,}0035\cdot 6=0{,}021$ кГ/см².

Напряжение сдвига за счет веса слоев одежды, лежащих выше песчаного (по номограмме рис. 10): $\tau_{а.в}=-0{,}032$ кГ/см².

Полное активное напряжение сдвига $\tau_а=0{,}021-0{,}032=-0{,}011$ кГ/см².

Расчет показывает, что по условию сдвига в песчаном подстилающем слое можно было бы уменьшить толщину вышележащих слоев, увеличив при этом толщину песчаного. Можно также заменить крупнозернистый песок менее прочным материалом. Целесообразность того или иного решения устанавливают сравнением вариантов.

6. Рассчитывают асфальтобетонное покрытие на растяжение при изгибе. Средний модуль упругости асфальтобетонного покрытия

$$E''_{ср}=\frac{12\,500\cdot 5+9000\cdot 8}{13}=10\,350 \text{ кГ/см}^2.$$

Взяв $E''_{общ}$ из табл. 3, вычисляют отношения

$$\frac{E''_{ср}}{E''_{общ}} = \frac{10\,350}{1620} = 6{,}4 \text{ и } \frac{h}{D} = 0{,}36.$$

По номограмме на рис. 11 Инструкции $\bar{\sigma}_r$=1,49 и σ_r=1,15 · 1,49 · 6,0= =10,3 *кГ/см²*, близко к допустимому $R_и$=10,4 *кГ/см²*.

7. Рассчитывают верхний слой основания из подобранного щебеночного материала, обработанного вязким битумом в установке, на растяжение при изгибе. Для этого вычисляют отношения:

$$\frac{E''_{ср}}{E_з} = \frac{10\,350}{8000} = 1{,}29; \quad \frac{E_з}{E'''_{общ}} = \frac{8000}{1240} = 6{,}45 \text{ и}$$

$$\frac{h}{D} = \frac{5+8+8}{36} = 0{,}58.$$

По номограмме (рис. 14 Инструкции) путем экстраполяции находят $\bar{\sigma}_r$= =0,63, откуда σ_r=1,15 · 0,63 · 6=4,3 *кГ/см²*.

Допускаемое напряжение на растяжение при изгибе больше фактического.

8. Расчета на морозоустойчивость в данном случае не требуется.

Ожидать поступления воды в период оттаивания из грунта в песчаный подстилающий слой не приходится — имеющиеся условия выходят за пределы, ограниченные ломаной линией в табл. 1 приложения 2.

Отвод воды, проникающей с поверхности, а также конденсационной влаги обеспечивается сбросом из песчаного слоя в ливневую канализацию.

ПРИМЕР 4

Требуется запроектировать усиление дорожной одежды на участке дороги III категории во II дорожно-климатической зоне. Существующая одежда имеет покрытие из щебня, обработанного битумом.

Исходные данные. Для существующей одежды имеются измеренные в весенние периоды ряда лет величины упругих прогибов под колесом автомобиля с нагрузкой на ось 10 *Т*. Ориентируясь на наибольшие часто встречающиеся значения этих прогибов, вычисляют расчетный модуль упругости существующей одежды на участке. Он составляет E_0=1550 *кГ/см²*.

Состав грузового движения на полосу с учетом перспективы:

Автомобили с нагрузкой на ось 10 *Т*	600	авт./сутки
» » » » » 7 »	600	»
» » » » » 4 »	500	»

За расчетный, учитывая перспективу, принимают автомобиль группы А с удельным давлением на покрытие p=6 *кГ/см²* и D=33 *см*.

Расчет усиления. 1. Вычисляют расчетную интенсивность движения на полосу $N_р$=600 · 1,0+600 · 0,36+500 · 0,02=826 авт./сутки. Так как имеются данные о величинах прогибов одежды в расчетный период, расчет ведут в соответствии с п. 3.31. Требуемый модуль упругости одежды (п. 3.10) $E_{тр}$=2230 *кГ/см²*.

2. Принимая во внимание предъявляемые к дороге эксплуатационные требования, намечают усиление одежды путем укладки двухслойного асфальтобетонного покрытия. Модули упругости асфальтобетона при t=10° С для верхнего слоя E_1=15 000 *кГ/см²*, для нижнего слоя E_2=10 000 *кГ/см²* Допускаемое напряжение на растяжение при изгибе для асфальтобетона нижнего слоя $R_и$= =12 *кГ/см²*.

Толщина верхнего слоя асфальтобетонного покрытия принята равной 4 *см*. Зная требуемый модуль упругости одежды и толщину верхнего слоя покрытия,

можно вычислить общий модуль упругости на поверхности нижнего слоя покрытия $E'_{общ}$. Для этого находят отношения:

$$\frac{E_{тр}}{E_1} = \frac{2\,230}{15\,000} = 0{,}149 \quad \text{и} \quad \frac{h_1}{D} = \frac{4}{33} = 0{,}12.$$

При этих данных по номограмме на рис. 4 Инструкции находят $\frac{E'_{общ}}{E_1} = 0{,}13$, откуда $E_{общ} = 0{,}13 \cdot 15\,000 = 1950$ *кГ/см²*.

Определяют необходимую толщину нижнего слоя асфальтобетонного покрытия:

$$\frac{E'_{общ}}{E_2} = \frac{1950}{10\,000} = 0{,}195; \quad \frac{E_0}{E_2} = \frac{1\,550}{10\,000} = 0{,}155.$$

По номограмме (рис. 4 Инструкции) $h_2/D = 0{,}2$, откуда $h_2 = 0{,}2 \cdot 33 \approx 7$ *см*.

3. Проверяют нижний слой асфальтобетонного покрытия на растяжение при изгибе.

Рассматривают двухслойную систему, состоящую из верхнего слоя толщиной 4+7=11 *см*, средний модуль упругости которого $E_{ср} = \frac{15\,000 \cdot 4 + 10\,000 \cdot 7}{11} =$ =11 800 *кГ/см²* и полупространства с модулем упругости E_0=1550 *кГ/см²*.

Находят отношения: $\frac{E_{ср}}{E_0} = \frac{11\,800}{1550} = 7{,}6$ и $\frac{h}{D} = \frac{11}{33} = 0{,}33$.

При этих данных с помощью номограммы на рис. 13 Инструкции находят $\bar{\sigma}_т$ = =1,70; тогда $\sigma_т = 1{,}15 p \bar{\sigma}_т = 1{,}15 \cdot 6 \cdot 1{,}70 = 11{,}7$ *кГ/см²* близко к допускаемому $R_и$ = =12 *кГ/см²*.

4. Участок дороги проходит на местности 1-го типа по условиям увлажнения, грунт — суглинок, поэтому рассчитывать конструкцию на морозоустойчивость и осушение нет необходимости.

ПРИМЕР 5

Требуется запроектировать дорожную одежду с покрытием из фракционированного щебня, обработанного вязким битумом в установке; по щебню устраивается поверхностная обработка.

Исходные данные. Категория дороги — III; дорожно-климатическая зона — III, тип местности по условиям увлажнения — 1-й, грунт земляного полотна — суглинок непылеватый.

Предусматривается пропуск нагрузок по группе А ГОСТ 9314—59. Состав грузового движения на полосу с учетом перспективы:

Автомобили с нагрузкой на ось 10 *Т*	50	авт./сутки
» » » » » 7 »	120	»
» » » » » 4 »	200	»

Расчетная интенсивность движения: $N_р = 50 \cdot 1{,}0 + 120 \cdot 0{,}36 + 200 \cdot 0{,}02 =$ =97 авт./сутки на полосу.

1. Верхний слой основания одежды намечено устраивать из гравийного материала, укрепленного 6% цемента смешением в установке. Нижний слой основания — из подобранного гравийного материала.

Приняты следующие расчетные характеристики грунта (табл. 1 и 4 приложение 2) и материалов конструктивных слоев (табл. 2 и 3 приложение 3).

Расчетная относительная влажность грунта 0,7 $W_т$. При этой влажности $E_{гр} = 340$ *кГ/см²*; $\varphi_{гр} = 1{,}8°$; $c_{гр} = 0{,}19$ *кГ/см²*.

Расчетные характеристики материалов:

а) фракционированный щебень, обработанный вязким битумом, E_1= =8000 *кГ/см²*;

б) гравийный материал, укрепленный 6% цемента смешением в установке E_2=5000 *кГ/см²*, $R_м$=3 *кГ/см²*;

в) гравийный материал: E_3=2000 *кГ/см²*, φ_3=45°, c_3=0,2 *кГ/см²*.

2. Рассчитывают толщину одежды по величине упругого прогиба. По номограмме на рис. 2 Инструкции находят требуемый модуль упругости. Для заданного движения $E_{тр}$=1430 *кГ/см²*, что больше минимально необходимого в данных условиях модуля 1350 *кГ/см²*.

Подбирают толщины слоев одежды так, чтобы общий модуль упругости на поверхности покрытия был близок к $E_{тр}$. Этому условию отвечает следующая конструкция: покрытие из фракционированного щебня, обработанного вязким битумом, — 8 *см*, верхний слой основания из гравийного материала, укрепленного цементом, — 10 *см*, нижний слой основания из гравийного материала — 20 *см* (табл. 4).

Таблица 4

Слой	Материал слоя	E, *кГ/см²*	h, *см*	$\frac{h}{D}$	Общий модуль упругости на поверхности слоя, *кГ/см²*
1	Щебень, обработанный битумом в установке	8 000	8	0,24	$E_{общ}=1430=E_{тр}$
2	Гравийный материал, укрепленный цементом смешением в установке	5 000	10	0,30	$E'_{общ}=1070$
3	Гравийный материал	2 000	20	0,61	$E''_{общ}=690$
4	Грунт — суглинок	340	—	—	—

3. Рассчитывают толщину одежды по условию сдвига в подстилающем грунте. Вычисляют $E_{ср}=\frac{8000\cdot 8+5000\cdot 10+2000\cdot 20}{38}=4050$ *кГ/см²*.

Отношения: $\frac{E_{ср}}{E_{гр}}=\frac{4050}{340}=11{,}9$; $\frac{h}{D}=\frac{8+10+20}{33}=1{,}15$.

Активное напряжение сдвига в подстилающем грунте от временной нагрузки (по номограмме рис. 8 Инструкции)

$$\frac{\tau_{а.м}}{p}=0{,}0285,\ \text{отсюда}\ \tau_{а.м}=0{,}0285\cdot 6=0{,}171\ кГ/см^2.$$

Активное напряжение сдвига от веса одежды (по номограмме на рис. 10 Инструкции): $\tau_{а.в}=-0{,}002$ *кГ/см²*.

Полное активное напряжение сдвига в подстилающем грунте: $\tau_а$=0,171—0,002=0,169 *кГ/см²*.

Допускаемое активное напряжение сдвига по формуле (7):

$$\tau_{а.доп}=\frac{1}{K_{пр}}K\kappa_2 c=\frac{1}{1{,}0}\cdot 0{,}8\cdot 1{,}0\cdot 0{,}19=0{,}152\ кГ/см^2.$$

Расчетное активное напряжение сдвига в грунте выше допускаемого. Разница составляет (в долях от $\tau_а$):

$$\Delta=\frac{0{,}169-0{,}152}{0{,}169}100=10\%.$$

Толщину одежды необходимо увеличить. По номограмме на рис. 11 Инструкции находят, что увеличение на 1 *см* слоя с модулем упругости 5000 *кГ/см*^{2} при $h/D \approx 1$ приводит к снижению напряжений сдвига в подстилающем грунте приблизительно на 0,04. Следовательно, необходимо увеличить толщину слоя на

$$\Delta h = \frac{10}{4} = 2{,}5 \text{ см}.$$

Увеличивают толщину верхнего слоя основания на 3 *см*.

Проверка показывает, что у конструкции, имеющей покрытие 8 *см*, верхний слой основания — 13 *см*, нижний слой основания — 20 *см*, напряжение сдвига в подстилающем грунте $\tau_а$ близко к $\tau_{а.доп}$.

4. Проверяют, не превосходят ли растягивающие напряжения при изгибе допускаемые для материала верхнего слоя основания. Рассматривают трехслойную систему, в которой рассчитываемый верхний слой основания является промежуточным, а нижележащее полупространство характеризуется модулем упругости $E''_{общ} = 690$ *кГ/ см*^{2} (табл. 4).

Для отношений: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{8000}{5000} = 1{,}6; \frac{E_2}{E''_{общ}} = \frac{5000}{690} = 7{,}3$ и $\frac{H}{D} = \frac{h_1 + h_2}{D} = \frac{21}{33} = 0{,}64$ путем экстраполяции данных номограммы на рис. 14 Инструкции находят $\bar{\sigma}_r = 0{,}65$. Полученное расчетом растягивающее напряжение при изгибе в укрепленном цементом гравийном материале составляет $\sigma_r = 1{,}15 \cdot 6 \cdot 0{,}65 = 4{,}5$ *кГ/см*^{2} и значительно превышает допускаемое $R_и = 3$ *кГ/см*^{2}.

При тех же значениях $\frac{E_1}{E_2}$ и $\frac{E_2}{E''_{общ}}$ по номограмме на рис. 14 подбирают H/D так, чтобы $\bar{\sigma}_r = \frac{1{,}05 R_и}{1{,}15 \times 6} = 0{,}46$ (коэффициент 1,05 учитывает возможное превышение на 5% допускаемого $R_и$). Отношение H/D должно быть равно 0,85, т. е. $H = h_1 + h_2 = 0{,}85\, D = 28$ *см*.

При толщине покрытия $h_1 = 8$ *см* требуется толщина верхнего слоя основания 20 *см* (рис. 4).

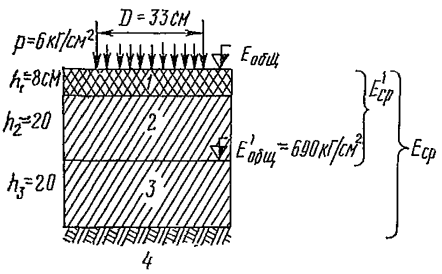


Рис. 4. Схема конструкции к примеру 5:

1 — фракционированный щебень, обработанный битумом, $E_1 = 8000$ *кГ/см*^{2}; *2* — гравийный материал, укрепленный цементом, $E_2 = 5000$ *кГ/см*^{2}, $R_и = 3$ *кГ/см*^{2}; *3* — подобранный гравийный материал, $E_3 = 2000$ *кГ/см*^{2}, $\varphi_3 = 45°$, $c_3 = 0{,}2$ *кГ/см*^{2}; *4* — суглинок, $E_{гр} = 340$ *кГ/см*^{2}, $\varphi_{гр} = 18°$, $c_{гр} = 0{,}19$ *кГ/см*^{2}

5. Для конструкции с толщинами покрытия $h_1 = 8$ *см*, верхнего слоя основания $h_2 = 20$ *см* и нижнего слоя основания $h_3 = 20$ *см* рассчитывают напряжение сдвига в гравийном материале подстилающего слоя. Средний модуль упругости вышележащих слоев

$$E'_{ср} = \frac{8000 \cdot 8 + 5000 \cdot 20}{28} = 5860 \text{ кГ/см}^2.$$

При отношениях: $\frac{E'_{ср}}{E''_{общ}} = \frac{5860}{690} = 8{,}5; \frac{h_1 + h_2}{D} = \frac{28}{33} = 0{,}85$ и при $\varphi_3 = 45°$ по номограмме на рис. 6 Инструкции находят $\tau_{а.м}/p = 0{,}020$. Отсюда $\tau_{а\,м} = 0{,}020 \cdot 6 = 0{,}120$ *кГ/см*^{2}.

Сдвигающее напряжение от веса вышележащих слоев толщиной 28 *см* при $\varphi_3=45°$ находят по номограмме на рис. 10 Инструкции $\tau_{а.в}=-0{,}023$ *кГ/см²*.

Полное активное напряжение сдвига в гравийном материале: $\tau_а=0{,}120-(-0{,}023)=0{,}097$ *кГ/см²*.

Допускаемое активное напряжение сдвига: $\tau_{а.доп}=\frac{1}{1{,}0}\,1{,}0\cdot 0{,}8\cdot 0{,}20=0{,}160$ *кГ/см²* больше полученного по расчету.

6. Проверять на растяжение при изгибе покрытие из обработанного битумом фракционированного щебня (крупнопористый материал) нет необходимости.

7. Общий модуль упругости конструкции заведомо выше $E_{тр}$, поэтому нет необходимости проверять ее по величине упругого прогиба.

8. На морозоустойчивость конструкцию не рассчитывают, так как сооружается она в 1-м типе местности по условиям увлажнения.

В запроектированной конструкции, как показывает расчет, сопротивление сдвигу подстилающего грунта, а также гравийного материала в основании недоиспользуется. Целесообразно поэтому ввести в цементогравийную смесь активизирующие добавки для повышения $R_и$. Это даст возможность создать более экономичную конструкцию с верхним слоем основания меньшей толщины.

Возможное повышение $R_и$ получают путем сопоставления результатов испытания образцов укрепленного цементом гравийного материала без добавок и с активизирующими добавками (приложение 6).

ПРИМЕР 6

Требуется запроектировать дорожную одежду с покрытием из гравийного материала на дороге IV категории во II дорожно-климатической зоне.

Исходные данные. Местность по условиям увлажнения относится ко 2-му типу. Грунт земляного полотна — суглинок тяжелый пылеватый. Материал для сооружения основания — песок мелкозернистый.

Расчетная нагрузка — автомобиль группы Б. Интенсивность движения (в одном направлении):

Автомобилей с нагрузкой на ось 6 *Т* . . . . . 240 авт./сутки
» » » » » 4 » . . . . . 50 »

1. Расчетные характеристики грунта земляного полотна и материалов конструктивных слоев:

а) расчетная относительная влажность грунта — 0,85 $W_т$. При этой влажности $E_{гр}=210$ *кГ/см²;*

б) расчетные модули упругости материалов: гравийного материала $E_1=2000$ *кГ/см²*; мелкозернистого песка $E_2=1000$ *кГ/см²;*

в) расчетные параметры нагрузки $p=5$ *кГ/см²*, $D=28$ *см* (см. приложение 1).

Расчетная интенсивность движения на полосу $N_р=240\cdot 1+50\cdot 0{,}2=250$ авт./сутки.

2. Находят по номограмме на рис. 2 Инструкции требуемый модуль упругости конструкции $E_{тр}=850$ *кГ/см²*, что соответствует минимально необходимому модулю упругости в данных условиях (см. табл. 2 в п. 3.12).

Задаются толщиной гравийного покрытия $h_1=20$ *см* и послойным расчетом с помощью номограммы на рис. 4 Инструкции находят необходимую толщину песчаного подстилающего слоя h_2 (рис. 5).

При $\frac{E_{тр}}{E_1}=\frac{E_{общ}}{E_1}=\frac{850}{2000}=0{,}425$; $\frac{h_1}{D}=\frac{20}{28}=0{,}715$

по номограмме на рис. 4 Инструкции

$$\frac{E'_{общ}}{E_1}=0{,}21,\ \text{тогда}\ E'_{общ}=2000\cdot 0{,}21=420\ кГ/см^2.$$

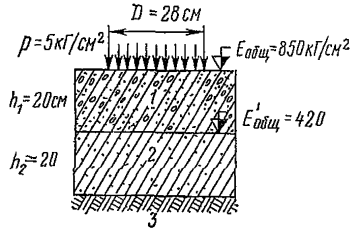


Рис. 5. Схема конструкции к примеру 6:
1 — гравийный материал, E_1 = 2000 *кГ/см²*; *2* — мелкозернистый песок, E_2 = 1000 *кГ/см²*; *3* — суглинок, $E_{гр}$ = 210 *кГ/см²*

При $\frac{E_{гр}}{E_2} = \frac{210}{1000} = 0{,}21$; $\frac{E'_{общ}}{E_2} = \frac{420}{1000} = 0{,}42$ по номограмме на рис. 4 Инструкции $\frac{h_2}{D} = 0{,}70$, отсюда толщина песчаного основания $h_2 = 0{,}70 \cdot 28 \approx 20$ *см*.

ПРИМЕР 7

Требуется запроектировать конструкцию дорожной одежды на подъезде к крупному карьеру в III дорожно-климатической зоне.

Исходные данные. Расчетная интенсивность движения — 800 большегрузных автомобилей БелАЗ-540 в сутки на полосу[1]. Удельное давление на покрытие $p = 5$ *кГ/см²*, расчетный диаметр следа колеса $D = 64$ *см* (см. табл. 3, приложение 1).

Грунт земляного полотна — суглинок непылеватый. Тип увлажнения местности — 1-й.

Материалы для устройства дорожной одежды: фракционированный щебень, обработанный вязким битумом в установке, щебень известняковый, прочный и среднезернистый песок.

Конструирование и расчет. 1. Назначают расчетные характеристики грунта и материалов дорожной одежды по таблицам приложений 2 и 3.

Расчетная относительная влажность суглинка в III дорожно-климатической зоне при 1-м типе местности по условиям увлажнения 0,7 $W_т$ (табл. 1, приложение 2). При этой влажности модуль упругости грунта $E_{гр} = 340$ *кГ/см²*, угол внутреннего трения $\varphi_{гр} = 18°$, сцепление $c_{гр} = 0{,}19$ *кГ/см²* (табл. 4, приложение 2).

Расчетные характеристики слоев дорожной одежды: фракционированный щебень, обработанный вязким битумом $E_1 = 8000$ *кГ/см²*, щебень из прочного известняка $E_2 = 4000$ *кГ/см²*; среднезернистый песок $E_3 = 1200$ *кГ/см²*; $\varphi_3 = 40°$; $c_3 = 0{,}05$ *кГ/см²*.

2. Согласно п. 3.8, расчет по упругому прогибу одежд, предназначенных для движения большегрузных автомобилей, не производится, так как отсутствуют данные о допустимых прогибах одежд для подобных нагрузок на колесо.

Рассчитывают толщину одежды исходя из условия, чтобы не достигалось предельное по сдвигу состояние в подстилающем грунте.

Принимая во внимание большие касательные усилия, возникающие под колесом большегрузных автомобилей, назначают толщину покрытия $h_1 = 20$ *см*, толщину щебеночного основания h_2 предварительно назначают равной 30 *см* и толщину песчаного подстилающего слоя $h_3 = 35$ *см* (рис. 6).

Средний модуль упругости одежды:

$$E_{ср} = \frac{20 \cdot 8000 + 30 \cdot 4000 + 35 \cdot 1200}{85} = 3790 \text{ кГ/см}^2.$$ При отношениях $\frac{h}{D} = \frac{85}{64} = 1{,}33$; $\frac{E_{ср}}{E_{гр}} = \frac{3790}{340} = 11{,}4$; $\varphi_{гр} = 18°$ по

[1] При наличии столь тяжелых автомобилей влияние стандартных автомобилей в составе движения можно не учитывать.

номограмме на рис. 8 Инструкции находят $\tau_{а.м}/p=0{,}0236$. Отсюда активное напряжение сдвига от временной погрузки $\tau_{а.в}=0{,}0236\cdot 5{,}0=0{,}118$ *кГ/см²*.

Активное напряжение сдвига от веса одежды толщиной 85 *см* при $\varphi=18°$; $\tau_{а.в}=-0{,}003$ *кГ/см²* определяют по номограмме на рис. 10 Инструкции.

Суммарное активное сдвигающее напряжение в грунте: $\tau_а=\tau_{а.м}+\tau_{а\,в}=0{,}118-0{,}003=0{,}115$ *кГ/см²*. Допускаемое активное напряжение сдвига в подстилающем грунте рассчитывают по формуле (5) (пп. 3.18, 3.21):

$$\tau_{а.доп}=\frac{\kappa_1\kappa_2}{nm}\cdot\frac{1}{K_{пр}}c_{гр}.$$

Частные коэффициенты κ_1, κ_2, m и $K_{пр}$ принимают по п. 3.21, причем $K_{пр}$, учитывающий менее высокие требования к эксплуатационным качествам по сравнению с капитальными покрытиями, может быть в данном случае принят равным 0,9.

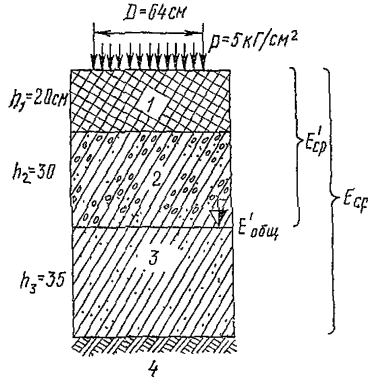


Рис. 6. Схема конструкции к примеру 7:

1 — фракционированный щебень, обработанный вязким битумом, $E_1=8000$ *кГ/см²*; *2* — известняковый щебень, $E_2=4000$ *кГ/см²*; *3* — среднезернистый песок, $E_3=1200$ *кГ/см²*; $\varphi_3=40°$, $c_3=0{,}05$ *кГ/см²*; *4* — суглинок, $E_{гр}=340$ *кГ/см²*; $\varphi_{гр}=18°$, $c_{гр}=0{,}19$ *кГ/см²*

Что касается коэффициента перегрузки n, с учетом более интенсивного динамического воздействия на дорогу большегрузных автомобилей его следует принимать более высоким по сравнению с обычными условиями. В данном случае принимают $n=1{,}3$. Тогда $\tau_{а\,доп}=\dfrac{0{,}6\cdot 0{,}8\cdot 0{,}19}{1{,}3\cdot 0{,}65\cdot 0{,}9}=0{,}12$ *кГ/см²*, т. е. близко к полученному расчетом.

3. Рассчитывают величину сдвигающих напряжений в песке подстилающего слоя. Рассматривают двухслойную систему со средним модулем упругости верхнего слоя (см. рис. 6).

$$E'_{ср}=\frac{20\cdot 8000+30\cdot 4000}{50}=5600\ кГ/см^2$$

и с общим модулем упругости $E'_{общ}$ нижележащего полупространства $E'_{общ}$ находят с помощью номограммы на рис. 4 Инструкции при

$$\frac{h_3}{D}=\frac{35}{64}=0{,}55\ \text{и}\ \frac{E_{гр}}{E_3}=\frac{340}{1200}=0{,}28;\ E'_{общ}=0{,}46\cdot 1200=550\ кГ/см^2.$$

Сдвигающее напряжение от временной нагрузки в песчаном материале определяют по номограмме на рис. 9 Инструкции при

$$\frac{h_1+h_2}{D}=\frac{50}{64}=0{,}78;\ \frac{E'_{ср}}{E'_{общ}}=\frac{5600}{550}=10{,}2\ \text{и}$$

$$\varphi_3=40°\ \frac{\tau_{а.м}}{p}\ 0{,}0075,$$

отсюда $\tau_{а.м}=0{,}0075\cdot 5=0{,}0375$ *кГ/см²*.

Активное напряжение сдвига от собственного веса конструкции толщиной $h_1+h_2=50$ *см* при $\varphi_3=40°$ (по номограмме на рис. 10 Инструкции) $\tau_{а.в}=-0{,}035$ *кГ/см²*. Суммарное напряжение сдвига в песке подстилающего слоя $\tau_{а\,м}+\tau_{а.в}=0{,}0375-0{,}035=0{,}0025$ *кГ/см²*.

Допускаемое напряжение вычисляют по формуле (5):

$$\tau_{а.доп}=\frac{0{,}6\cdot 0{,}8}{1{,}3\cdot 1{,}15\cdot 0{,}9}\cdot 0{,}05=0{,}356\cdot 0{,}05=0{,}018\ кГ/см^2.$$

Таким образом, прочностные свойства песка в подстилающем слое в значительной степени недоиспользуются.

Можно уменьшить толщину щебеночного основания, если это экономически целесообразно, одновременно увеличив толщину песчаного слоя.

4. Щебеночный материал и обработанный битумом фракционированный щебень на прочность не рассчитывают.

5. При имеющихся условиях нет необходимости рассчитывать конструкцию на морозоустойчивость и осушение.

Приложение 5. МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ

Модуль упругости характеризует сопротивление деформированию под действием нагрузок упрочненного (работающего в стадии обратимых деформаций) грунта или материала. Следовательно, грунт или материал перед определением модуля упругости должен быть предварительно упрочнен, т. е. подвергнут многократному нагружению до прекращения накопления остаточной деформации. Однако это значительно усложнило бы испытания. Экспериментально установлено, что получаемые таким путем модули упругости мало отличаются от значений модулей, вычисленных на основе величины восстанавливающейся деформации при циклическом нагружении не полностью упрочненных грунтов и материалов. Поэтому при определении расчетных значений модулей упругости грунт или материал можно испытывать постепенно возрастающими нагрузками прикладываемыми ступенями с разгрузкой после каждой ступени без предварительного упрочнения.

В выведенные на основании законов теории упругости расчетные зависимости входят значения модулей, получаемые при испытании образцов в условиях свободного бокового расширения (так называемые «кубиковые» значения модулей). Однако грунты и материалы испытываются чаще всего местным нагружением в массиве в условиях ограниченного бокового расширения, в этом случае при определении расчетной величины модуля упругости приходится вводить соответствующие поправки.

Модуль упругости вычисляют по формуле

$$E_у=\frac{\pi}{4}\cdot\frac{pD(1-\mu^2)}{l}, \qquad (1)$$

где p — удельная нагрузка, *кГ/см²*, под действием которой получена обратимая деформация, равная l, *см*;

D — диаметр жесткого штампа, *см*;

μ — коэффициент Пуассона, который может быть принят для грунтов при отсутствии в них пластических смещений равным 0,35, а для большинства материалов конструктивных слоев одежды — около 0,25; при вычислении общего модуля упругости слоистой конструкции принимается среднее значение $\mu=0{,}3$;

$\frac{\pi}{4}$ — поправочный коэффициент при испытании жестким штампом.

Модуль упругости — значительно более стабильная характеристика деформационных свойств грунтов и материалов, чем, например, модуль деформации. Он в меньшей мере зависит от степени первоначального уплотнения грунта или материала и практически мало меняется с изменением величины действующей нагрузки. Поэтому нет необходимости жестко устанавливать величины деформаций или нагрузок, при которых нужно вычислять значения модуля упругости по данным испытаний.

Однако чтобы избежать больших погрешностей, не следует при испытании доводить нагрузки до величин, при которых в массиве или конструкции получают значительное развитие пластические смещения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ НА ДОРОГАХ

Модули упругости грунта земляного полотна и материалов конструктивных слоев одежды на существующих дорогах определяют местным нагружением. При этом модули упругости грунта земляного полотна вычисляют непосредственно по результатам испытания, а значения модулей упругости материалов конструктивных слоев устанавливают расчетным путем на основе результатов послойного испытания конструкции.

Получаемые в данном случае значения модулей упругости относятся к состоянию конструкции (влажность, плотность, температура) в момент проведения испытания, поэтому для того, чтобы установить значения модулей упругости в расчетный период, нужно приурочить испытания к этому периоду.

Местным нагружением дорожную конструкцию испытывают с помощью специального передвижного или навесного пресса, состоящего из гидравлического или механического домкрата и динамометра (при применении механического домкрата), набора штампов и индикаторов для замера осадок штампа. Домкрат упирают в раму груженого автомобиля или прицепа (рис. 1); на период испытаний желательно блокировать рессоры автомобиля.

Осадки штампа замеряют двумя индикаторами (мессурами), установленными вдоль диаметра штампа на равном расстоянии от его центра. Вертикальное смещение центра штампа принимают равным полусумме отсчетов по индикаторам. Индикаторы надежно закрепляют на жесткой реперной балке, точки опоры которой должны быть удалены не менее чем на четыре диаметра от штампа, для того чтобы вертикальные смещения покрытия при испытании не вызывали ощутимых осадок реперной балки. Чтобы разгрузка опор установки в процессе испытаний не влияла на замеры осадок штампа, опоры (колеса автомобиля или прицепа) должны быть удалены от опор реперной балки и штампа также не менее чем на четыре диаметра последнего.

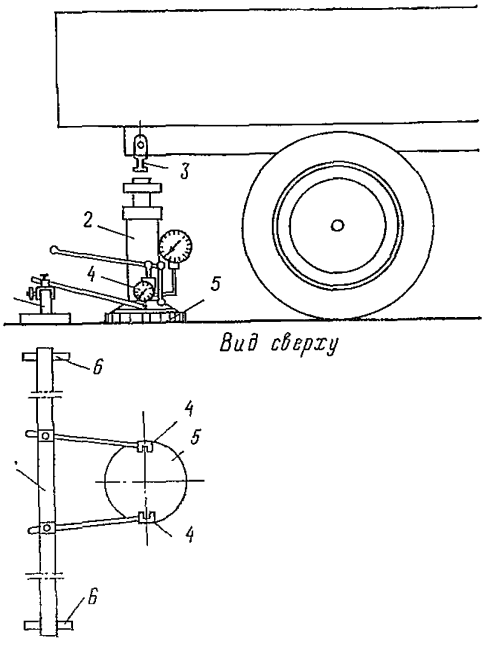


Рис. 1 Схема навесного пресса

1 — балка для крепления индикаторов (реперная балка); *2* — домкрат; *3* — упорная балка; *4* — индикаторы часового типа; *5* — штамп; *6* — опоры балки

Пробное нагружение с помощью пресса производят следующим образом. Штамп площадью, близкой к площади следа колеса расчетного автомобиля, устанавливают на покрытии и прикладывают первую ступень нагрузки, которую выдерживают, пока скорость роста осадки не станет меньше 0,02 *мм/мин*. Записав показания индикаторов, штамп разгружают, оставляя лишь минимальную

нагрузку для того, чтобы штамп и домкрат не сместились в сторону. В разгруженном состоянии штамп оставляют до прекращения упругого восстановления деформации и, записав показания индикаторов, прикладывают следующую ступень нагрузки; так делается до достижения расчетной нагрузки (либо несколько ее превышающей). Величину ступеней нагрузок выбирают так, чтобы в процессе каждого испытания было три-четыре нагружения.

На основании этих данных вычисляют восстанавливающуюся (упругую) деформацию при каждой ступени нагрузки и строят график зависимости величины деформации от удельного давления. За величину удельного давления принимают в данном случае величину нагрузки при данной ступени за вычетом остаточной нагрузки.

Чаще всего получаемая зависимость близка к линейной.

Имея значение упругой деформации l при удельной нагрузке p, по формуле (1) вычисляют величину модуля упругости. При вычислении модулей используют участок кривой с близкими к расчетным для каждого элемента конструкции напряжениями.

При вычислении по формуле (1) модуля упругости слоистой конструкции с верхним достаточно жестким слоем (асфальтобетонные и другие обработанные вяжущими покрытия, щебень и т. п.) коэффициент $\frac{\pi}{4}$ не вводится, так как жесткость штампа практически не влияет на величину вертикальной деформации такой конструкции.

После испытания покрытие снимают и нагружают поверхность основания. Аналогичным образом строят зависимость величины упругой деформации от величины удельной нагрузки и по формуле (1) вычисляют значения модулей упругости конструкции без слоя покрытия.

Имея общий модуль упругости на поверхности покрытия $E_{общ}$ и общий модуль упругости на поверхности основания E_2 (см. расчетную схему на номограмме, рис. 2), с помощью номограммы находят значение модуля упругости материала покрытия E_1. Номограмма (см. рис. 2) аналогична номограмме для расчета двухслойной системы, приведенной на рис. 4 текста, но ею удобнее пользоваться, когда неизвестен модуль упругости верхнего слоя E_1. В данном случае из точки h/D на горизонтальной оси проводят вертикаль до пересечения с кривой $E_2/E_{общ}$ и полученную точку горизонтальной прямой сносят на вертикальную ось, где находят отношение E_2/E_1. Зная E_2, вычисляют искомое значение модуля слоя E_1.

При малых значениях $E_2/E_{общ}$ для повышения точности расчетов следует пользоваться деталью этой номограммы, приведенной на рис. 3.

После того как найден модуль упругости материала покрытия, удаляют верхний слой основания и производят нагружение на поверхности нижнего слоя основания, затем — на поверхности подстилающего одежду грунта.

Модуль упругости грунтового основания вычисляют как для однородного массива непосредственно по формуле (1).

По мере углубления в толщу конструкции нужно постепенно снижать величину нагрузок (и величину ступеней), чтобы не нарушить сложившуюся структуру материалов конструктивных слоев и подстилающего грунта.

Когда нагружение производят на поверхности промежуточного слоя из слабосвязных материалов — щебеночных, гравийных и т. п., вышележащие конструктивные слои вскрывают лишь на площади, близкой к площади штампа. Это позволяет оценить распределяющую способность испытываемого слоя в условиях, близких к реальным условиям его работы, когда материал слоя защемлен между соседними слоями.

Все конструктивные слои дорожной одежды следует испытывать штампом одного диаметра, так как это упрощает методику вычисления модулей упругости материалов конструктивных слоев. Грунт земляного полотна целесообразно испытывать штампом несколько большего диаметра (50—70 *см*), чтобы учесть распределение напряжений от временных нагрузок по глубине.

При испытании местным нагружением необходимо обеспечить плотное прилегание штампа к поверхности испытываемого конструктивного слоя или грунта. Поверхность перед установкой штампа тщательно выравнивают, не нарушая сложившейся структуры. В отдельных случаях под штамп укладывают быстро-

твердеющий цементный раствор, гипс или тонкий слой (1—2 *мм*) песка, просеянного через сито с отверстиями 0,5 *мм*.

При испытаниях одежд и грунта местным нагружением следует подробно фиксировать толщину, состав и свойства материалов отдельных конструктивных слоев одежды, а также состав, свойства, состояние и степень влажности грунта земляного полотна. Для материалов, содержащих органические вяжущие, следует фиксировать температуру слоя во время испытания.

Эти данные могут понадобиться при проектировании реконструкции или капитальном ремонте дороги; кроме того, они очень ценны как материал для уточнения нормативных значений расчетных модулей упругости. Также фиксируют состав материалов, состояние (степень монолитности, влажность и пр.) каждого слоя и отбирают образцы для лабораторных исследований состава и свойств материалов. В земляном полотне закладывают шурф на глубину около 1 *м от верха основания дорожной одежды и берут пробы по горизонтам для* определения естественной и характерных влажностей, гранулометрического состава, объемного веса и оптимальной плотности грунта. Одновременно характеризуют состояние покрытия, конструкцию земляного полотна, а также условия увлажнения дороги на участке испытания.

Из изложенного следует, что приводимый метод испытания позволяет получать расчетные значения длительных (равновесных) модулей упругости материалов и грунта.

Чтобы получить экспериментально расчетные величины модулей упругости, учитывающие вязкие свойства битумоминеральных материалов, необходимо проводить испытания специальными прессами, позволяющими осуществлять кратковременные нагрузки длительностью 0,1—0,2 *сек,* и записывать деформации на ленту осциллографа.

Ориентировочные величины расчетных модулей битумоминеральных материалов можно также получить при испытании образцов, сформованных из этих материалов в лаборатории.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ В ЛАБОРАТОРИИ

Значения модулей упругости, близкие к расчетным, можно получить в лаборатории, когда грунт или материал испытывается при той влажности, плотности, а для смесей с органическими вяжущими — и температуре, которые они будут иметь в дорожной конструкции в расчетный период.

Так как отобрать образцы с ненарушенным сложением из конструкции в расчетный период весьма затруднительно, а при новом строительстве невозможно, приходится искусственно приготавливать образцы, обладающие требуемой влажностью и плотностью. Как показывают результаты сравнительных испытаний, разница в величине модулей упругости, определенных в дорожной конструкции и в лаборатории, для грунтов при одной и той же влажности и плотности в большинстве случаев невелика.

Расчетная влажность грунтов при приготовлении образцов (если для данных местных условий отсутствуют более достоверные ее значения) может быть принята по табл. 1 приложения 2. Плотность грунта зависит от принятой расчетной влажности.

При влажности, близкой к оптимальной по условиям уплотнения (около 0,65—0,70 от границы текучести) и более низкой, за расчетную плотность грунта в верхней части земляного полотна следует принимать (в долях от наибольшей по методу стандартного уплотнения).

в дорожно-климатических зонах II—III — 0,98—1; IV—V — 0,95—0,98.

Бо́льшие значения коэффициентов уплотнения принимают для капитальных покрытий, меньшие — усовершенствованных облегченных и переходных.

При более высоких расчетных влажностях плотность образцов грунта устанавливается исходя из условия, чтобы в порах скелета разместилась вся вода

и 2—3% защемленного воздуха. В этом случае объемный вес скелета грунта можно вычислить по формуле:

$$\gamma_{ск} = \frac{\Delta (1 - v)}{1 + w\frac{\Delta}{\Delta_в}}, \qquad (2)$$

где Δ — удельный вес минеральной части, *г/см*³, принимаемый в среднем для непластичных грунтов 2,65 и для пластичных — 2,68; $\Delta_в$ — объемный вес воды, принимаемый — 1;

v — объем защемленного в порах воздуха, в долях единицы, обычно 0,02—0,03;

w — весовая влажность грунта, в долях единицы.

1. Образцы грунтов для определения модуля упругости испытывают на рычажном прессе местным нагружением (с разгрузками). Образцы с послойным уплотнением приготавливают в стальной цилиндрической форме, диаметр которой должен быть не менее четырех, а высота не менее трех диаметров штампа. Размеры формы должны быть 15×15 или 20×15 *см*, так как грунт испытывают штампами 4—5 *см*.

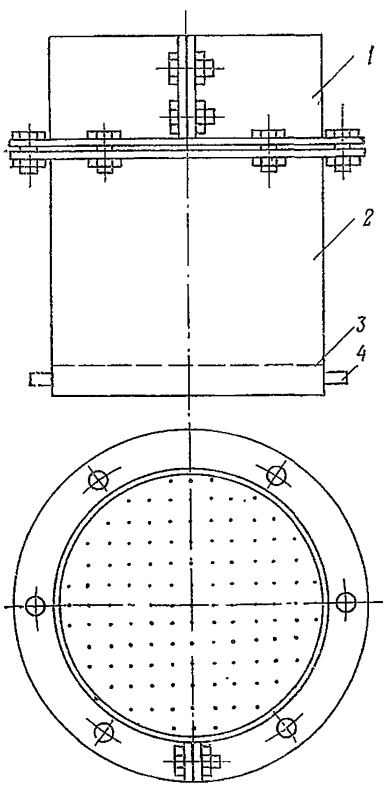


Рис. 4. Форма со съемной надставкой:

1 — надставка; *2* — форма; *3* — дно формы с отверстиями; *4* — патрубок

Когда расчетная влажность образца не превышает значительно оптимальную, образец приготавливают при расчетной влажности и требуемой плотности. В этом случае необходимое количество (по весу) равномерно увлажненного грунта укладывают в форму в три-четыре приема обычно равными порциями. Каждый слой уплотняют металлической трамбовкой до требуемого по расчету объема. Образовавшуюся на поверхности каждого слоя переуплотненную корку разрыхляют, затем укладывают и уплотняют следующую порцию грунта, и так до заполнения всей формы.

Образец изготовляют на 2 *см* выше поверхности формы, для чего к форме с помощью фланцев крепят надставку, разрезанную по образующей (рис. 4). Перед испытанием надставку снимают, а излишек грунта туго натянутой тонкой стальной проволокой аккуратно срезают заподлицо с поверхностью формы. Этим обеспечивают получение гладкой однородной поверхности образца, на которую устанавливают штамп при испытании.

Уплотненный в форме грунт вместе с надставкой помещают не менее чем за сутки во влажный эксикатор для более равномерного распределения влаги и для восстановления нарушенной в процессе уплотнения структуры пленок связанной воды. Только после этого образец испытывают.

Когда расчетная влажность грунта значительно выше оптимальной по условиям уплотнения, образцы для испытания приготовляют, насыщая водой предварительно уплотненный до требуемой плотности грунт. Для этого металлическая форма должна иметь второе дно дырчатое, с отверстиями диаметром 0,5—1 *мм* (см. рис. 4). В образующуюся полость вставлены два патрубка, к которым крепят резиновые трубки. Грунт укладывают в форму (поверх уложенной на дырчатое дно фильтровальной бумаги) и уплотняют послойно до объемного веса скелета, вычисленного по формуле (2). Особенно тщательно нужно разрыхлить поверхность каждого слоя на глубину около 5 *мм*,

чтобы разрушить образовавшуюся переуплотненную корку, в противном случае не будет достигнуто равномерное по высоте насыщение образца водой. Для насыщения на один патрубок надевают резиновый шланг от резервуара с водой, устанавливаемого так, чтобы уровень воды находился на 20—50 *см* выше поверхности грунта в форме. На другой патрубок надевают шланг, прикрепленный к установленной вертикально стеклянной трубке. При этом нужно следить, чтобы между поверхностью воды в полости формы и дырчатым дном не образовалась воздушная подушка. Образец насыщают до полного заполнения пор водой, что определяют периодическим взвешиванием формы с грунтом. В зависимости от свойств грунта и заданной плотности для насыщения требуется от двух до пяти суток.

По окончании насыщения на шланги ставят зажимы, шланги отключают от источников питания водой, помещают форму с грунтом на сутки во влажный эксикатор, после чего образец испытывают.

Испытание проводят на рычажном прессе. Нагрузку прикладывают через штамп, помещаемый в центре образца. Штамп имеет расположенные по диаметру заплечики, на которые устанавливают ножки индикаторов для замера вертикальных смещений штампа (рис. 5). Смещение центра штампа принимают равным полусумме отсчетов по индикаторам. Держатели индикаторов укрепляют на фасонных пластинках, привинченных к фланцу формы.

Нагрузку прикладывают ступенями с разгрузкой после каждой ступени. Каждую ступень нагрузки выдерживают до затухания деформации (разница отсчетов по индикаторам не более 0,01 *мм* за 5 *мин*). После того как зафиксирован отсчет по индикаторам, штамп разгружают и ожидают восстановления деформации (допуск тот же, что и при нагружении). Затем прикладывают следующую ступень и так до достижения нагрузки, при которой начинают интенсивно развиваться пластические смещения в толще массива. Это обычно сопровождается значительным увеличением как остаточной, так и обратимой деформации. Величину ступеней нагрузки выбирают так, чтобы иметь три — пять ступеней в процессе испытания.

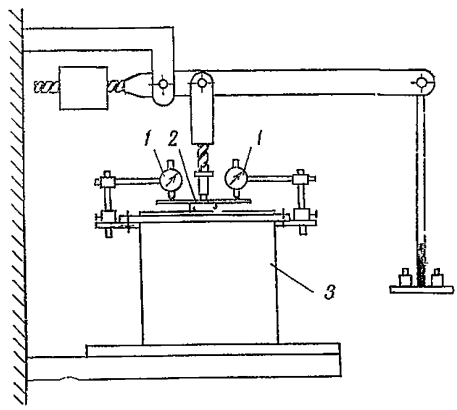


Рис. 5. Схема установки штампа и индикаторов:

1 — индикаторы часового типа; *2* — штамп с заплечиками; *3* — форма с образцом грунта

На основе полученных значений обратимой деформации при каждой ступени нагрузки строят график зависимости упругой деформации от удельного давления и по формуле (1) вычисляют значение модуля упругости при каждой ступени нагрузки.

При испытании связных грунтов высокой влажности следует давать пригрузку вокруг штампа. Не следует во избежание больших ошибок испытывать в лаборатории малыми штампами образцы слабосвязных зернистых материалов (пески всех видов, крупные супеси). Такие грунты нужно испытывать штампами диаметром 25—35 *см*.

2. Монолитные материалы, обладающие достаточно прочными связями между частицами (асфальтобетон, материалы и грунты, укрепленные добавками цемента, и т. п.), испытывают в лаборатории в виде цилиндров или балочек. Причем в последнем случае одновременно с величиной модуля упругости определяют и прочностную характеристику — предельное растягивающее напряжение при изгибе $R_{и}$ (см. приложение 6).

Цилиндрические образцы испытывают на сжатие в условиях свободного бокового расширения. Нагрузку прикладывают ступенями. Каждую ступень выдерживают до стабилизации деформации (допуск приведен выше), после чего образец разгружают. Когда деформация восстановится, прикладывают следующую ступень нагрузки и т. д.

Значение модуля упругости вычисляют по формуле

$$E_{\text{упр}} = \frac{4Ph}{\pi D^2 \Delta h}, \qquad (3)$$

где P — нагрузка, *кГ*, при которой обратимая деформация равна Δh, *см*;
h — высота цилиндрического образца, *см*;
D — диаметр образца, *см*.

При испытании статическими нагрузками получают значения длительных модулей упругости, которые, как указывалось, мало отличаются от динамических лишь для материалов, укрепленных неорганическими вяжущими. Эти материалы можно испытывать на любых прессах, включая и рычажные.

Нужно, однако, учитывать, что получаемые в результате такого испытания модули упругости материалов, укрепленных неорганическими вяжущими (цементом и др.), обычно в несколько раз превосходят расчетные модули упругости, приведенные для этих материалов в приложении 3 Объясняется это рядом причин: неизбежным образованием трещин в укрепленном вяжущим слое, резко снижающих распределяющую его способность; неоднородностью смесей и другими дефектами технологии в производственных условиях и др. Поэтому получаемые в лаборатории значения модулей упругости для материалов, укрепленных цементом, можно рассматривать лишь как сравнительные величины.

Повышать рекомендуемые в таблицах расчетные значения модулей упругости для этих материалов допустимо лишь на основании многолетнего опыта службы таких конструкций.

Чтобы учесть присущие битумоминеральным материалам (асфальтобетону и т. п.) вязкие свойства, нужно испытывать их в условиях быстрого нагружения на механических или гидравлических прессах, позволяющих осуществлять нагружение с достаточно высокими скоростями.

Так, на механическом прессе УМ-5М скорость деформирования может достигать 100 *мм/мин*. На гидравлическом прессе ПСУ-10 скорость деформирования 150—200 *мм/мин* можно обеспечить при общем времени нагружения 1—1,5 *сек*.

Поскольку на этих серийно выпускаемых прессах задается лишь скорость деформирования, скорость нагружения устанавливают по диаграмме деформирования в пределах прямолинейного участка, где не происходит нарушения структуры материала. Скорость нагружения

$$v_{\text{н}} = \frac{R}{t_{\text{л}}}, \qquad (4)$$

где R — напряжение в конце прямолинейного участка диаграммы деформирования, *кГ/см²*;
$t_{\text{л}}$ — время, за которое напряжение R достигнуто, *сек*.

Принимается также, что в этом интервале при быстром нагружении удельная величина остаточной деформации пренебрежимо мала.

Расчетный модуль упругости вычисляют в этом случае также по формуле (3), но с введением в нее коэффициента, учитывающего соотношение скоростей нагружения в реальных условиях и при испытании в лаборатории.

Опыты показали, что этот коэффициент подчиняется закономерности:

$$k_v = \sqrt[3]{\frac{v_{\text{р}}}{v_{\text{н}}}}, \qquad (5)$$

где $v_{\text{н}}$ — скорость нагружения образца при испытании в лаборатории, *кГ/см²* в 1 *сек*;
$v_{\text{р}}$ — скорость нагружения материала в конструкции в соответствии с расчетной схемой, *кГ/см²* в 1 *сек*.

Когда расчет ведется по принятой в настоящее время схеме с использованием значений статических модулей упругости, можно принять $v_{\text{р}} = 0{,}5$ *кГ/см²* в 1 *сек*.

Приложение 6. МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ СДВИГУ

Значения угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c находят путем испытания образцов в лаборатории [1].

Образцы могут быть испытаны на приборах трехосного сжатия (стабилометрах) либо на различного рода сдвижных приборах.

Сравнительные испытания показывают, что при тщательном проведении опытов результаты, полученные на приборах трехосного сжатия и сдвижных приборах, не разнятся сколько-нибудь существенно.

Для получения расчетных характеристик сопротивления грунтов и материалов сдвигу образцы испытывают при влажности и плотности (а для материалов с органическими вяжущими и температуре), соответствующих состоянию грунтов и материалов в расчетный период.

1. Испытание в условиях трехосного напряженного состояния

Для испытания образцов грунтов и материалов в условиях трехосного напряженного состояния существует большое количество моделей приборов. Для каждого из них разработана подробная методика проведения испытания с учетом особенностей конструкции прибора. Поэтому здесь даются лишь общие рекомендации, которые следует учитывать при испытаниях, чтобы получить расчетные характеристики, используемые при проектировании дорожных одежд.

Испытывают цилиндрические образцы с отношением диаметра к высоте около 1 : 2. Минимальный диаметр образца в зависимости от крупности содержащихся фракций принимают равным при максимальном размере зерен, содержащихся в испытываемом материале, 5 *мм* — 60 *мм*; то же 20 *мм* — 100 *мм*.

Образцы грунта, имеющие требуемую влажность и плотность, можно готовить в больших формах и затем из них специальным резаком вырезать цилиндр нужного диаметра и высоты либо приготавливать образец с послойным уплотнением грунта в специальной разъемной форме требуемых диаметра и высоты.

На образцы связных грунтов и материалов, после того как они вынуты из формы или резака, надевают манжет из резины толщиной 0,2—0,3 *мм*. Размеры манжета для образцов 6×12 *см*: диаметр 58 *мм*, длина — 200 *мм*. Образец с манжетом устанавливают в камеру прибора, после чего камеру закрывают и заполняют водой.

Образцы слабосвязных грунтов и материалов приготавливают в разъемной стальной форме, в которую предварительно вложен резиновый манжет, а также плитка, поддерживающая образец снизу. Уплотненный послойно до требуемой плотности образец вместе с формой помещают в камеру прибора, где в образце создается небольшой вакуум (около 100 *мм рт. ст.*). После удаления разъемной формы камеру закрывают и заполняют водой.

Испытывают не менее трех образцов каждого грунта или материала одинаковой влажности и плотности при различных величинах бокового давления σ_3.

Все испытания проводят таким образом, чтобы плотность и влажность образцов в момент разрушения соответствовала расчетным значениям этих характеристик.

Вертикальное нагружение осуществляют непрерывно с равномерной скоростью для грунтовых образцов около 0,1—0,2 *кГ/см*^{2} в 1 *мин*, а для материалов с более высокой скоростью с учетом их прочности. Такая скорость нагружения может быть достигнута с помощью отрегулированной струи воды.

---

[1] Разрабатываются также методы определения этих характеристик непосредственно в полевых условиях.

В процессе нагружения через равные промежутки времени фиксируют вертикальные деформации образца. Нагружение ведут до достижения интенсивного роста деформаций.

На основе результатов испытаний вычисляют скорость деформирования образца при различных вертикальных нагрузках и изображают полученные зависимости графически (рис. 1).

На начальной стадии нагружения скорость деформирования равномерно и сравнительно медленно возрастает по мере увеличения нагрузки. Но после того как нагрузка достигает определенной величины (разной при различном боковом обжатии), скорость деформации резко увеличивается и наступает так называемое лавинное нарушение структуры по П. А. Ребиндеру. Эти точки соответствуют достижению предельного равновесия в образце по сдвигу при имеющемся боковом давлении.

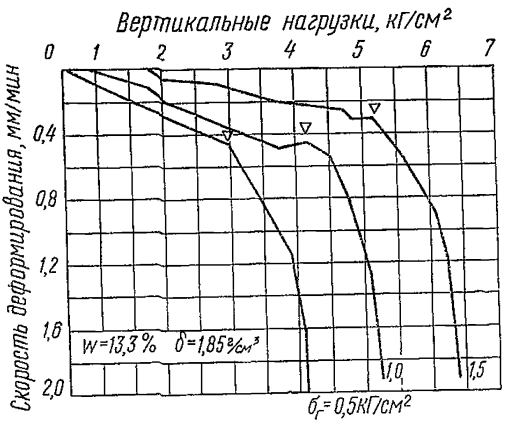


Рис. 1. Примерная зависимость скорости деформирования от величины вертикальной нагрузки при испытании суглинистого грунта на приборе трехосного сжатия (▽ — точка резкого увеличения скорости деформирования)

На основании полученных данных строят диаграмму Мора и обычным порядком (рис. 2) определяют значение угла внутреннего трения и величину сцепления в грунте при данной влажности и плотности.

Величину бокового давления при испытании образцов следует назначать так, чтобы максимальная вертикальная нагрузка на образец не *превосходила величины напряжения при* данной плотности в процессе компрессионного испытания этого грунта. В противном случае не будет гарантирована одинаковая плотность всех трех испытываемых образцов, и, следовательно, окажется невоможным сопоставить полученные данные.

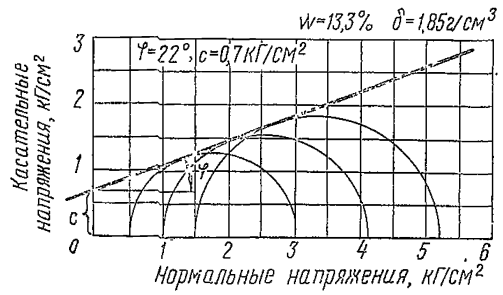


Рис. 2. Диаграмма Мора для суглинистого грунта

2. Испытания на сдвиг по заданной плоскости

Мелкозернистые грунты испытывают на сдвиг обычно в виде цилиндрических образцов диаметром не менее 70 *мм* (~40 *см*²) и высотой 3—3,5 *см*; грунты и материалы, содержащие крупные включения, но не более 40 *мм* — в формах размером до 30×30 *см*. Допускается замена более крупных фракций равным по весу количеством фракций от 10 до 40 *мм*. Приготавливают образцы при заданной влажности и плотности либо в большой форме и затем вырезают специальным резаком (мелкозернистые грунты), либо непосредственно в форме прибора.

Необходимо испытать не менее трех образцов одинаковой влажности и плотности при разных вертикальных нагрузках, при этом максимальная нагрузка не должна существенно превышать напряжений, имеющих место в дорожной конструкции.

Если прибор снабжен приспособлением для сдвига с постоянной скоростью деформирования, испытание ведут со скоростью деформирования около 0,1 *см/мин*. На основе результатов отсчетов по динамометру, взятых через равные промежутки времени, устанавливают зависимость между сдвигающим напряжением и деформацией сдвига. Эта зависимость изображается графически.

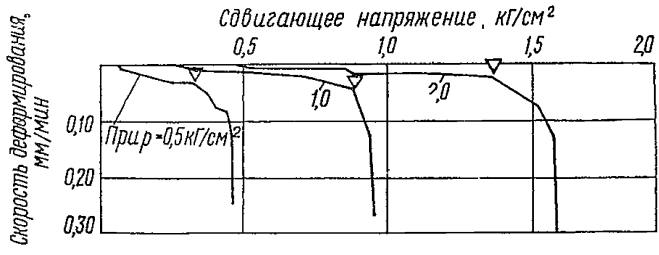


Рис. 3. Примерная зависимость скорости деформирования от величины сдвигающих напряжений при испытании на приборе плоского среза (*p*— удельная вертикальная нагрузка, ∇—точки резкого увеличения деформации сдвига)

откуда получают значение максимального сопротивления сдвигу при данных условиях испытания.

Если такое приспособление отсутствует, сдвигающее напряжение увеличивают с постоянной скоростью (нагружение струей воды). Одновременно фиксируют деформацию сдвига через равные промежутки времени и по полученным данным строят зависимость скорости течения деформации от нагрузки. За сопротивление сдвигу принимают напряжение, соответствующее резкому увеличению скорости деформирования (рис. 3).

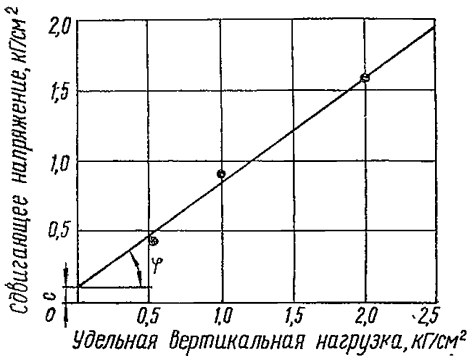


Рис. 4. Диаграмма Кулона:

c — сцепление, *кГ/см²*; φ — угол внутреннего трения, *град*

Получив значения сопротивления сдвигу при разных вертикальных нагрузках, величины угла внутреннего трения и сцепления находят из уравнения Кулона $\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$ путем графического построения (рис. 4).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ РАСТЯЖЕНИЮ ПРИ ИЗГИБЕ

Величину сопротивления растяжению при изгибе грунтов и материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, асфальтобетона и других монолитных материалов можно определять на изгибаемых образцах (балочках) размером не менее 4×4×16 *см*. Обычно параллельно испытывают не менее трех образцов.

Образцы приготовляют в стальных формах. Стенки формы из стали марки Ст. 3 должны быть толщиной не менее 15 *мм* для изготовления цементогрунтовых образцов и не менее 20 *мм* — для изготовления образцов асфальтобетона.

Необходимое количество смеси укладывают в форму со вставленным в нее предварительно нижним вкладышем. Смесь в форме разравнивают и частично уплотняют шпателем, при этом цементогрунтовая смесь должна иметь оптимальную влажность, а при изготовлении асфальтобетонных образцов температура смеси, формы и вкладышей должна быть 140—160°С. Затем вставляют верхний вкладыш и уплотняют материал прессованием. Уплотнение осуществляется перемещающимися навстречу друг другу вкладышами.

Величина статической нагрузки и продолжительность ее действия при прессовании укрепленных цементом грунтов должны быть такими, чтобы плотность изготовленного образца соответствовала максимальной, достигаемой по методу

стандартного уплотнения. Давление на асфальтобетонную смесь доводится до 300 *кГ/см²*, и эта нагрузка выдерживается 3 *мин.* Наряду со статической нагрузкой образцы можно уплотнять и трамбованием.

После уплотнения вынимают один из вкладышей, устанавливают форму с образцом на подставки и с помощью пресса выдавливают образец из формы.

Изготовленные таким образом цементногрунтовые образцы помещают в камеру влажного твердения. После 28-суточного выдерживания[1] образцы увлажняют путем полного насыщения их водой под вакуумом или без него, либо насыщают капиллярно. Время насыщения 6—12 *ч.* Та или иная степень увлажнения зависит от природных условий местности. Затем образцы испытывают.

Асфальтобетонные образцы выдерживают при комнатной температуре не менее 16 *ч.* Непосредственно перед испытанием образец помещают на два часа в ванну, наполненную водой, имеющей заданную температуру. Эта температура должна соответствовать температуре покрытия в расчетный период.

Для испытания на изгиб образец боковой поверхностью укладывают на опоры специальной подставки. Расстояние между опорами — 14 *см*; одна из опор подвижная. Нагрузка на образец прикладывается в середине на всю ширину балочки. Под образцом помещен прикрепленный к подставке индикатор часового типа для определения вертикального смещения (прогиба).

Образцы из грунта и материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, испытывают на прессе при перемещении подушки пресса с постоянной скоростью 2—4 *мм/мин* до разрушения.

Образцы из асфальтобетона испытывают на механическом или гидравлическом прессе марки УМ-5М или ПСУ-10 (см. приложение 5). Нагружение ведут со скоростью деформирования 100—200 *мм/мин* до разрушения.

Расчетное сопротивление растяжению при изгибе для материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, находят по формуле

$$R_{и} = \frac{3Pl}{2bh^2} K_{у}, \qquad (1)$$

где P — разрушающая нагрузка на образец, *кГ;*

l — расстояние между опорами, *см;*

b — ширина образца, *см;*

h — высота образца, *см;*

$K_{у}$ — коэффициент запаса на повторное воздействие нагрузок учитывает развитие усталостных явлений в материале; для цементогрунта принимают ориентировочно $K_{у}=0{,}4$.

Для балочки размером 4×4×16 *см* при $l=14$ *см:*

$$R_{и}=0{,}33\,PK_{у}. \qquad (2)$$

Если образцы цементогрунта испытывали после 7-суточного твердения, то для получения $R_{и}$ для образцов в 28-суточном возрасте в полученную по формуле (1) величину следует ввести коэффициент 1,5.

Расчетное сопротивление растяжению при изгибе для смесей с органическими вяжущими получают по той же формуле (1), но вводят в нее коэффициент $к_{у}$ (см. формулу (5), приложение 5), учитывающий скорости нагружения в реальных условиях и в процессе испытания.

Коэффициент запаса $K_{у}$ на повторность нагрузок принимают в этом случае равным 0,2—0,3 (меньшие значения при интенсивном движении).

Ориентировочные значения сопротивления растяжению при изгибе можно получить, используя показатель прочности на растяжение при расколе $R_{раск}$.

К цилиндрическому образцу размером около 5×5 *см* (укрепленные мелкозернистые грунты) или 10×10 *см* (укрепленные гравийные, щебеночные и другие обломочные материалы) на прессе прикладывают нагрузку по образующей. Нагружение ведут до разрушения с теми же скоростями, что и при испытании на изгиб.

---

[1] Для получения ориентировочных данных допускается испытание образцов уже после суточного твердения. Образцы с малоактивными вяжущими приходится выдерживать более длительные сроки.

Прочность при расколе находят по формуле

$$R_{\text{раск}} = k\frac{P}{dh}, \qquad (3)$$

где P — нагрузка при расколе образца, *кГ*;

d, h — соответственно диаметр и высота образца, *см*;

k — коэффициент, принимаемый равным 1 при испытании материалов с органическими вяжущими и $2/\pi$ — при испытании материалов с неорганическими вяжущими.

Сопротивление растяжению при изгибе получают, умножая показатель $R_{\text{раск}}$ на коэффициент $\kappa_{\text{п}}$, найденный экспериментальным путем. Для материалов, укрепленных неорганическими вяжущими, можно принять $\kappa_{\text{п}}=2$ и для смесей с органическими вяжущими $\kappa_{\text{п}}\approx 4$. В дальнейшем значения $\kappa_{\text{п}}$ необходимо уточнять.

Для получения расчетных значений $R_{\text{и}}$ к полученным величинам должен быть введен коэффициент $K_{\text{у}}$, а также поправка на возраст испытанных образцов цементогрунта, как указано выше.

Для материалов с органическими вяжущими вводится, кроме того, коэффициент $k_{\text{у}}$ (см. формулу 5 приложения 5).

Приложение 7. ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НЕЖЕСТКОЙ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ ПО ВЕЛИЧИНЕ ПРОГИБА ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЯ ПОД КОЛЕСОМ РАСЧЕТНОГО АВТОМОБИЛЯ [1]

ОПИСАНИЕ РЫЧАЖНОГО ПРОГИБОМЕРА

Рычажный прогибомер (см. рисунок) имеет составной рычаг, свободно вращающийся вокруг опорных винтов *9*. Рычаг состоит из переднего плеча *11* и заднего плеча *6*, изготовленных из труб различного диаметра так, что переднее плечо рычага при необходимости может быть свободно вдвинуто в заднее плечо,

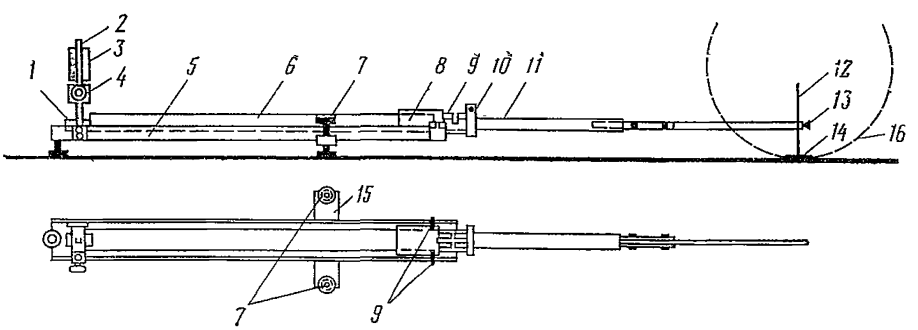


Схема рычажного прогибомера:

1 — пробка заднего плеча рычага; *2* — стойка для индикатора; *3* — индикатор; *4* — держатель индикатора; *5* — швеллер; *6* — заднее плечо рычага; *7* — подъемный винт; *8* — муфта; *9* — опорные винты; *10* — стяжной болт; *11* — переднее плечо рычага; *12* — измерительный стержень; *13* — винт-держатель; *14* — подпятник; *15* — съемная опора; *16* — заднее колесо автомобиля

[1] Разработано кафедрой строительства и эксплуатации дорог МАДИ под руководством проф. Н. Н. Иванова.

чем достигается уменьшение длины прибора в транспортном положении в 2 раза. Для жесткого соединения двух плечей рычага используют стяжной болт *10* в передней части соединительной муфты *8*. В соединительной муфте имеются конические гнезда, в которые входят опорные винты, обеспечивающие свободное вращение рычага вокруг горизонтальной оси. Переднее плечо рычага имеет измерительный стержень *12*, закрепленный винтом *13*. Заднее плечо рычага *6* заканчивается пробкой с горизонтальной площадкой для стержня индикатора

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОГИБА

Прочность дорожной одежды оценивают на участках через каждые 200—250 *м*. На каждом участке прогиб измеряется на полосе наката в двух-трех точках через 5—10 *м* вдоль дороги

Полоса наката на покрытии, как правило, выделяется по цвету и хорошо заметна. На вновь построенных дорогах при невозможности определить полосу наката прогиб измеряют на расстоянии 1,5—2 *м* от края покрытия.

Для испытания дорожной одежды применяют груженый автомобиль с нагрузкой на колесо и давлением на покрытие, равными нагрузке и давлению у автомобиля, на который рассчитывается дорожная одежда (пп. 3,2; 3,3).

После загрузки автомобиля балластом (песком, щебнем) следует проверить нагрузку на колесо переносными гидравлическими весами и измерить площадь отпечатка колеса.

ПОДГОТОВКА РЫЧАЖНОГО ПРОГИБОМЕРА К РАБОТЕ

К месту измерения прогиба прибор доставляют в транспортном положении, т. е. переднее плечо рычага вдвинуто в заднее плечо. В транспортном положении не следует закреплять рычаг опорными винтами.

Для того чтобы перевести прибор из транспортного положения в рабочее, необходимо:

а) присоединить к швеллеру и закрепить винтом съемную опору;

б) поставить прибор на покрытие вблизи места измерения прогиба;

в) выдвинуть переднее плечо рычага и жестко закрепить его стяжным болтом *10*. Болт следует затянуть так, чтобы нельзя было повернуть рукой переднее плечо рычага вокруг его продольной оси;

г) устанавливают конические гнезда рычага против опорных винтов и последние завинчивают без чрезмерного усилия до полного отсутствия люфта, т. е. рычаг не должен качаться в горизонтальной плоскости. Опорные винты закрепляют контргайками. Не следует сильно завинчивать опорые винты во избежание уменьшения чувствительности прибора. После закрепления рычага измерительный стержень *12* должен быть расположен перпендикулярно к поверхности покрытия. Опорные винты и конические гнезда необходимо периодически смазывать автолом;

д) поднять прибор за швеллер и, придерживая рычаг в горизонтальном положении, переместить прибор так, чтобы измерительный стержень разместился между скатами заднего спаренного колеса автомобиля точно под центром задней оси автомобиля;

е) закрепить на стойке *2* держатель индикатора так, чтобы стержень индикатора уперся в пробку заднего плеча рычага и на 3—4 *мм* был выше крайнего нижнего положения;

ж) несколько раз поднять рукой стержень индикатора и резко опустить его. Если прибор подготовлен к измерению правильно, то после каждого опускания стержня отсчеты по индикатору будут одни и те же;

з) произвести частые, но легкие удары металлическим предметом (запасным измерительным стержнем) по швеллеру прибора. При постукивании необходимо следить за стрелкой индикатора. Стрелка должна чуть заметно дрожать, но после прекращения постукивания оставаться на одном и том же делении. Не следует производить сильные удары, так как они могут нарушить первоначальную установку прибора;

и) для проверки правильности работы прогибомера в начале испытаний необходимо несколько раз измерить прогиб в одной точке, как это указано выше. Если показания расходятся больше, чем на 5%, следует проверить крепление всех узлов;

к) в солнечную погоду большие расхождения могут быть также вызваны неравномерным нагреванием рычага прибора. Избежать погрешности в измерении прогиба в этом случае можно путем затенения прогибомера, изготовив для этого легкий переносный щит.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОГИБА ПОКРЫТИЯ

После того как груженый автомобиль простоял не менее 3 *мин* на месте измерения прогиба, приступают к измерению. При этом соблюдают следующий порядок:

а) записывают отсчет по индикатору в журнал (см. форму журнала);

б) автомобиль продвигают вперед на следующую точку измерения на расстояние 5—10 *м* от предыдущей;

в) по истечении одной минуты производят легкие удары по швеллеру прибора, как это указано выше;

г) если в течение 10 *сек* отсчеты по индикатору не изменяются более чем на 0,1 *мм*, в журнал записывают второй отсчет по индикатору. Разница в отсчетах будет соответствовать величине прогиба покрытия в точке измерения;

д) прогиб покрытия во второй точке измеряют аналогичным образом;

е) если величины прогибов в двух точках отличаются не более чем на 10—15%, то вычисляют средний арифметический прогиб, он и будет характеризовать прочность участка;

ж) если прогибы отличаются на бо́льшую величину, измеряют прогиб в третьей дополнительной точке на расстоянии 5—10 *м* от второй точки. За величину прогиба покрытия на участке принимают среднее арифметическое двух значений прогибов, отличающихся друг от друга не более чем на 10—15%. Третье значение прогиба считают случайным, не характерным для данного участка.

При переезде на следующий участок прибор можно не переводить в транспортное положение. Следует снять индикатор с держателем и осторожно погрузить рычажный прогибомер в кузов автомобиля.

После окончания работы прибор во избежание быстрого износа обязательно переводят в транспортное положение, для чего снимают рычаг с опорных винтов, отпускают стяжной болт муфты и вдвигают переднее плечо рычага в заднее. Снимают опорную станину *15*.

При измерении прогибов необходимо строго выполнять правила техники безопасности.

В начале и конце участка измерений необходимо установить переносные ограждения с укрепленным на них знаком «Дорожные работы».

Водитель грузового автомобиля, под колесом которого измеряют прогибы, должен быть проинструктирован старшим по работе. В процессе работы водитель обязан выполнять только сигналы старшего. Прежде чем стронуть автомобиль с места, водитель должен убедиться, что это безопасно для лиц, работающих с прогибомером. Устанавливать рычажный прогибомер под колесом автомобиля можно только после установки автомобиля на тормоза и выключения двигателя.

УСТАНОВЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ПЕРИОДА ГОДА

Прочность дорожной одежды оценивают в наиболее неблагоприятный период года. Этот период на эксплуатируемых дорогах следует определять ежегодно.

Для установления наиболее неблагоприятного периода выбирают несколько участков дороги, находящихся в условиях, различных по характеру и степени увлажнения. На выбранных участках фиксируют опорные точки — несмываемой краской или другим способом. С начала оттаивания земляного полотна периодически измеряют прогиб покрытия на зафиксированных точках.

Наиболее неблагоприятным периодом для дорожной одежды является период, когда прогибы поверхности покрытия наибольшие.

Периодическое измерение прогибов на выбранных участках в течение нескольких лет позволяет установить коэффициент перехода от величины прогиба в наиболее неблагоприятный период к прогибу в любой другой период года. Значения этих коэффициентов дадут возможность в дальнейшем ориентировочно оценивать прочность дорожной одежды по величине прогиба в любой период года.

УСТАНОВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ С НЕДОСТАТОЧНОЙ ПРОЧНОСТЬЮ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

По величине среднего упругого прогиба l и параметрам нагрузки p и D вычисляют модуль упругости одежды по формуле

$$E_{\text{общ}} = \frac{1000\, p\, D\, (1 - \mu^2)}{l}, \qquad (1)$$

где l — упругий прогиб в сотых долях миллиметра.

Сопоставляют полученное значение с требуемым модулем упругости $E_{\text{тр}}$ в данных условиях по номограмме рис. 2 и 3.

Если фактический модуль упругости дорожной одежды получился большим или равным требуемому, участок дороги может быть отнесен к прочным. Если измеренный модуль меньше требуемого, дорожная одежда имеет недостаточную прочность. В этом случае следует ограничить движение автомобилей с нагрузкой на колесо, вызывающей прогибы больше предельных, или принять меры к усилению дорожной одежды.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЗАПОЛНЕНИЯ ЖУРНАЛА ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Все результаты испытаний сводят в журнал оценки прочности дорожной одежды, где указывают расстояние от правого или левого краев, отмечают состояние покрытия на участке, где производится измерение прогиба, зарисовывают трещины в радиусе 1,5 *м* от измерительного стержня или записывают их характер, записывают отсчеты по индикатору в сотых долях миллиметра. Так, например, при отсчете по индикатору 2,46 записывают 246.

В журнал заносят модуль упругости $E_{\text{общ}}$, вычисленный по формуле (1).

Приложение 8. УТОЧНЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА И МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ О СЛУЖБЕ ОДЕЖД НА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДОРОГАХ

Состояние одежды на дорогах, находящихся длительный период в эксплуатации, является наиболее надежным показателем того, в какой степени конструкция одежды отвечает требованиям, предъявляемым имеющимся движением.

Очевидно, на участках, на которых не образовались деформации, указывающие на недостаточную прочность конструкции, одежда работала в течение всего периода службы, в том числе и в так называемые расчетные годы, в стадии практически только обратимых деформаций.

На дорогах с усовершенствованными покрытиями такие участки характеризуются ровной поверхностью проезжей части, на них не имеется каких-либо ис-

кажений в поперечном профиле, просадок, мелкой сетки трещин по полосам движения и т. п.

Поэтому для таких участков справедливо условие прочности при расчете по предельному равновесию при сдвиге в подстилающем одежду грунте (п. 3.22):

$$\tau_{а.м}+\tau_{а.в}\leqslant K\kappa_2 c_{гр}, \qquad (1)$$

а также условия $E_{общ}\geqslant E_{тр}$, (2)

когда расчет ведется по методу упругих прогибов (пп. 3.9—3.15).

При расчете одежд по методу упругих прогибов основным показателем является расчетное значение модуля упругости подстилающего одежду грунта. Именно эту расчетную характеристику целесообразно определять на основе данных о службе одежды путем так называемого обратного расчета.

Зная конструкцию одежды на данном участке и характер материалов отдельных конструктивных слоев, по формуле (3) текста вычисляют средний модуль упругости одежды $E_{ср}$. При этом модули упругости материалов слоев принимают по таблицам приложения 3, либо находят $E_{ср}$ по результатам испытания одежды местным нагружением (см. приложение 5).

На основе данных учета движения по дороге определяют наибольшую интенсивность движения в расчетный период, приведенную к расчетному автомобилю (приложение 1). Затем по номограмме на рис. 2 текста устанавливают $E_{тр}$ для имеющихся условий. Полагая $E_{тр}=E_{общ}$ и зная общую толщину одежды h, а также средний модуль упругости $E_{ср}$, с помощью номограммы на рис. 4 текста находят модуль упругости подстилающего одежду грунта $E_{гр}$.

Нужно иметь в виду, что полученная величина $E_{гр}$ заведомо ниже действительного его значения. Чтобы получить верхний предел, аналогично рассчитывают участки с одинаковой конструкцией земляного полотна в тех же природных условиях, но на проезжей части которых образовались отдельные деформации, указывающие на недостаточную прочность дорожной конструкции. Для этой цели следует выбирать участки, деформации на которых образовались заведомо из-за недостаточной прочности подстилающего одежду грунта.

Расчетные значения $E_{гр}$ принимают ближе к тому или другому пределу в зависимости от требований к надежности проектируемой одежды.

Естественно, что полученные таким образом величины $E_{тр}$ действительны только для участков с аналогичными грунтами и условиями увлажнения земляного полотна.

Когда рассчитывают дорожную одежду по предельному равновесию при сдвиге в подстилающем грунте, в расчетах используют три характеристики грунта: $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$ и $c_{гр}$. Поэтому приходится задаваться значениями двух из них, чтобы обратным расчетом найти третью.

Величина модуля упругости грунта в данном случае значительно меньше влияет на результаты расчета, поскольку основным фактором, определяющим толщину дорожной одежды, является сопротивление грунта сдвигу, поэтому $E_{гр}$ может быть принят для имеющихся условий по табл. 4 приложения 2.

Угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$ гораздо меньше, чем величина сцепления $c_{гр}$, зависит от влажности грунта. Поэтому значение $\varphi_{гр}$ может быть также взято из табл. 4 приложения 2, либо найдено путем испытания образцов грунта в лаборатории при расчетной влажности (приложение 6).

Располагая указанными данными, величину $c_{гр}$ для прочных участков находят из выражения

$$c_{гр}\geqslant\frac{\tau_{а.м}+\tau_{а.в}}{K k_2}, \qquad (3)$$

где $\tau_{а.м}$ — максимальное активное напряжение сдвига в подстилающем грунте от временной нагрузки (определяется согласно п. 3.19);

$\tau_{а.в}$ — активное напряжение сдвига от собственного веса одежды, получаемое с соответствующим знаком по номограмме на рис. 8 Инструкции;

K и κ_2 — коэффициенты, значения которых приведены в п. 3.21.

Значения $c_{гр}$, полученные обратным расчетом по формуле (3) на участках с прочной конструкцией так же, как и величины $E_{гр}$ при обратных расчетах по методу упругих прогибов, как правило, ниже действительных. Аналогичными расчетами конструкций на участках с деформированной в той или иной степени одеждой получают величины $c_{гр}$, превышающие действительные.

Приложение 9. МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ НА МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ[1]

Пригодность грунтов и материалов для устройства морозозащитных слоев устанавливают на основании результатов промораживания образцов, в процессе которого измеряют деформации морозного пучения. Показатель пригодности — величина коэффициента пучения грунта или материалов $K_{пуч}$, представляющая собой выраженное в процентах отношение вертикальной деформации пучения к первоначальной высоте образца.

Условия проведения испытания, характерные для работы грунтов и материалов в морозозащитных слоях дорожных конструкций, установлены исходя из следующих соображений:

1. Скорость промерзания земляного полотна автомобильных дорог, как показали наблюдения, колеблется от 1—1,5 *см/сутки* для II и III дорожно-климатических зон европейской части территории СССР до 1,5—2,5 *см/сутки* для Сибири, а также Северного Казахстана. Для обеспечения таких скоростей промерзания в лаборатории испытания ведут при температуре воздуха в камере от минус 3 до минус 4° С для европейской части СССР и от минус 5 до минус 6° С для Сибири и Северного Казахстана. При этом более низкие температуры принимаются для районов с более суровым климатом.

2. Влияние давления вышележащих слоев на вспучивание материала при промерзании можно ориентировочно учесть умножением величины коэффициента пучения $K_{пуч}$, получаемого в результате этих испытаний, на коэффициент, определяемый по графику (рис. 1) в зависимости от мощности стабильного слоя (значения $K_{пуч}$ усреднены для распространенных пучинистых грунтов).

3. Испытываемый материал уплотняют до 0,98—1 от стандартной плотности при оптимальной влажности.

4. Грунты и материалы, предназначенные для устройства морозозащитных слоев на местности 3-го типа по условиям увлажнения, испытывают при неограниченном подсосе влаги во время промораживания. Для условий 2-го типа местности испытания проводят также при возможности неограниченного подсоса воды, но за величину коэффициента пучения $K_{пуч}$ в этом случае принимают 0,6 от полученной в опыте величины.

Примечание. Грунты, укрепленные добавками, образующими жесткие связи между частицами (цемент, известь и т. п.), необходимо проверять, помимо вспучивания, также и на морозостойкость, т. е. на сохранение структуры в процессе повторных промораживаний.

Испытания проводят в цилиндрической форме (рис. 2), состоящей из отдельных стальных колец, имеющих пазы, с помощью которых кольца соединяются друг с другом.

Пазы сделаны с допусками, позволяющими кольцам свободно перемещаться по вертикали при промораживании грунта и таким образом обеспечивать беспрепятственное вспучивание образца.

Пазы и внешняя поверхность колец смазываются предварительно солидолом.

На съемный поддон (с отверстиями) формы укладывается фильтровальная бумага для более равномерного распределения влаги по площади при подтоке воды к образцу.

---

[1] Методика составлена Г. В. Волчанским с использованием материалов Ю. М. Васильева.

Образец уплотняют послойно до 0,98—1 от стандартной плотности (при оптимальной влажности) на прессе или трамбованием. После уплотнения каждого слоя его поверхность разрыхляют на глубину 3—5 *мм*, чтобы разрушить образовавшуюся корку.

Сформованный образец при комнатной температуре в течение двух—четырех суток (*нижний предел — для слабосвязных, верхний — для связных грунтов*) насыщают водой.

Для промораживания образцов могут быть использованы автоматические фреоновые холодильники, обеспечивающие необходимую температуру. В камеру холодильника устанавливают деревянный каркас, общитый со стороны дверцы холодильника фанерой и заполненный теплоизоляционным материалом. На съемный крышке каркаса устанавливают формы с образцами для промораживания (рис. 3). Расстояние от поверхности крышки до низа морозильной камеры должно быть не более 30 *см*.

Дверца морозильного отделения и поддон снимаются. Пространство между образцами до верха форм заполняют теплоизоляционным материалом, чтобы промораживание грунта происходило только сверху. Если для этого применяют сыпучий теплоизолятор (опилки, пробковую крошку и т. п.), со стороны дверцы холодильника необходимо устанавливать тонкую стенку, препятствующую осыпанию теплоизолятора.

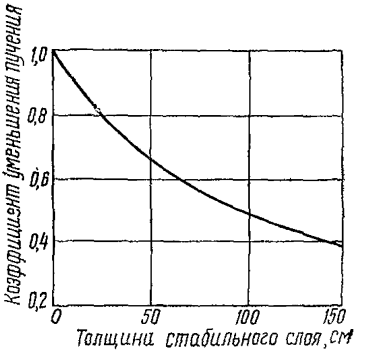


Рис. 1. Зависимость коэффициента пучения грунта от толщины стабильного слоя

Воду к промораживаемым образцам подают от расположенной вне камеры делительной воронки, позволяющей поддерживать постоянный напор (см. рис. 3).

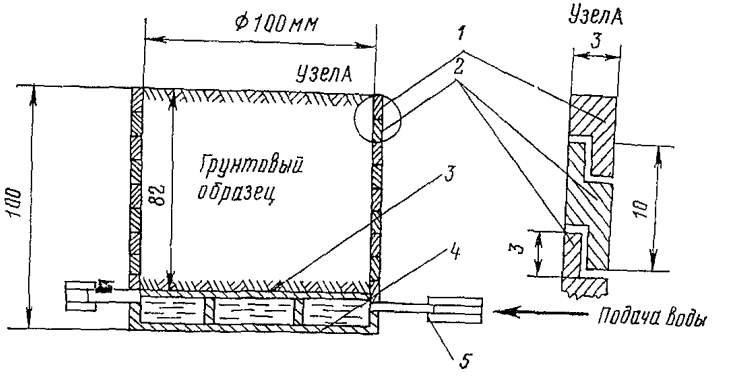


Рис. 2. Форма для испытания грунта на морозное пучение:
1 — верхнее кольцо стенки формы; *2* — промежуточные кольца; *3* — дно с отверстиями; *4* — нижнее дно формы; *5* — штуцер

Вертикальную деформацию образца измеряют индикаторами часового типа (мессурами) с ценой деления 0,01 *мм*.

Испытание ведется до полного промерзания образца, которое продолжается около четырех суток. К этому времени показания мессур уже не изменяются, что указывает на окончание процесса промерзания.

Терморегулятор обеспечивает заданную температуру в холодильнике, контролируемую термометром, помещенным внутри холодильника на поверхности теплоизоляции.

Не рекомендуется часто открывать холодильник. Целесообразно сделать в его дверце окно из оргстекла, через которое можно вести наблюдения за показаниями термометра и индикаторов.

Показания индикаторов обычно фиксируют через каждые 6 *ч*. Если в процессе испытания пучение достигает предельной величины (например, 10 *мм*), индикаторы приходится переставлять, причем записывают отсчеты до и после перестановки.

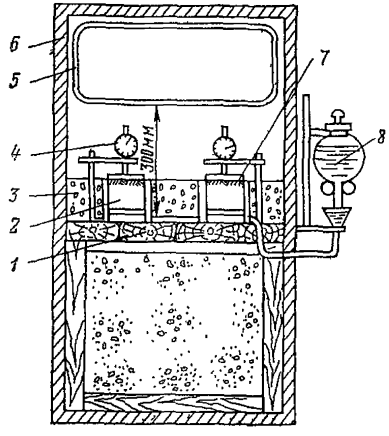


Рис. 3. Схема оборудования холодильника для испытаний на морозное пучение грунтов:

1 — съемная крышка каркаса; *2* — формы с образцами грунта; *3* — засыпка из теплоизолирующего материала; *4* — индикаторы; *5* — морозильная камера; *6* — стенки холодильника; *7* — верх образца грунта; *8* — подача воды к образцам

Степень пучения вычисляется на основании показаний индикаторов по формуле

$$K_{\text{пуч}} = \frac{\Delta h}{h} 10^{1}, \qquad (1)$$

где $K_{\text{пуч}}$ — коэффициент пучения грунта, %;
Δh — величина вспучивания образца;
h — начальная высота образца.

Рекомендуется для контроля промораживать одновременно два образца одного грунта.

Материалы, коэффициент пучения которых не превышает 1%, можно считать практически не изменяющими объема при промерзании в дорожной конструкции.

Приложение 10. НОМОГРАММЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИН И МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ СЛОЕВ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ[1]

Номограммы (рис. 1—32) могут быть использованы для следующих целей:

1. Определение толщины h слоя материала, имеющего модуль упругости $E_{\text{в}}$, при известных модулях на поверхности нижележащих слоев $E_{\text{н}}$ и на поверхности данного слоя $E_{\text{общ}}$.

2. Определение модуля упругости на поверхности нижележащих слоев $E_{\text{н}}$ при заданных значениях $E_{\text{в}}$, $E_{\text{общ}}$ и h.

3 Определение общего модуля упругости $E_{\text{общ}}$ на поверхности данного слоя, имеющего модуль $E_{\text{в}}$, при известных величинах h и $E_{\text{н}}$.

[1] Номограммы составлены кафедрой строительства и эксплуатации дорог МАДИ.

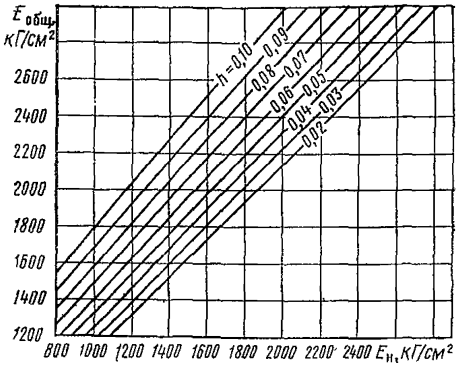


Рис. 1. Определение толщины слоев дорожной одежды при модуле упругости $E_в$=15 000 *кГ/см²*

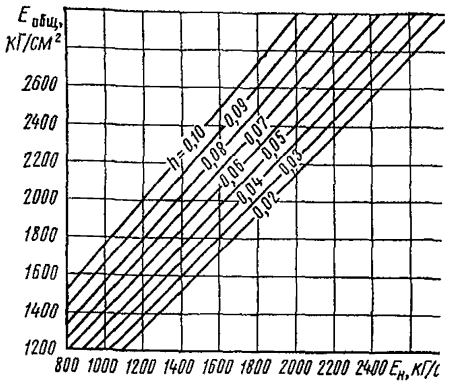


Рис. 2. Модуль упругости слоя $E_в$=14 500 *кГ/см²*

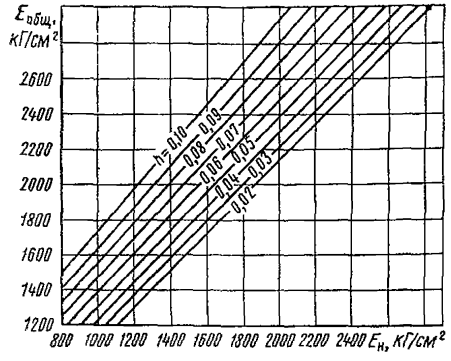


Рис. 3. Модуль упругости слоя $E_в$=14 000 *кГ/см²*

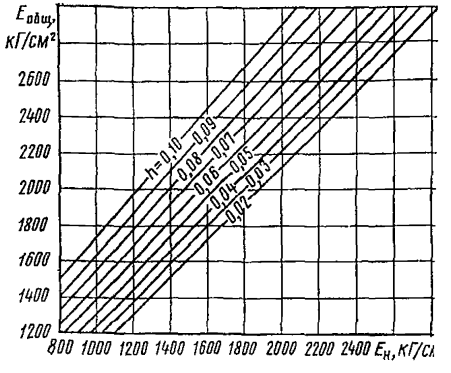


Рис. 4. Модуль упругости слоя $E_в$=13 500 *кГ/см²*

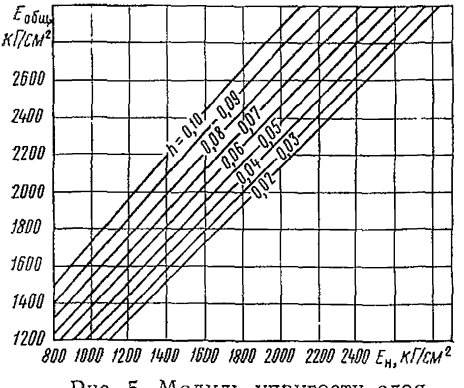


Рис. 5. Модуль упругости слоя $E_в$=13 000 *кГ/см²*

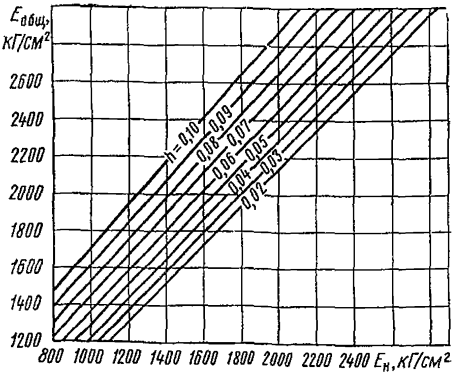


Рис. 6. Модуль упругости слоя $E_в$=12 500 *кГ/см²*

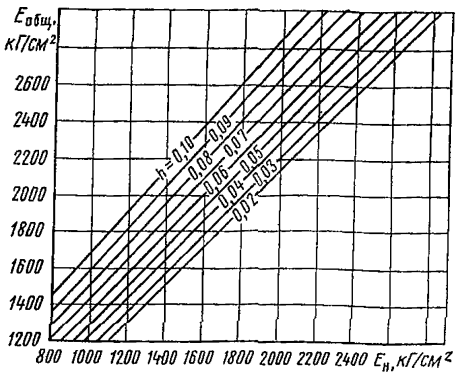


Рис. 7. Модуль упругости слоя $E_в$=12 000 кГ/см²

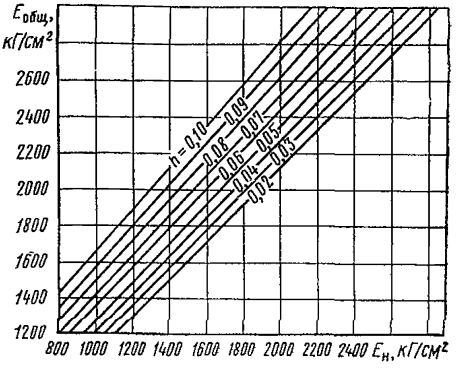


Рис. 8. Модуль упругости слоя $E_в$=11 500 кГ/см²

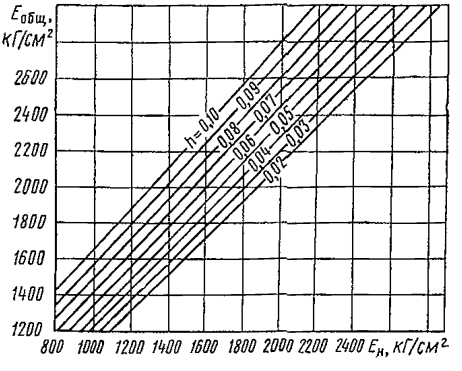


Рис. 9. Модуль упругости слоя $E_в$=11 000 кГ/см²

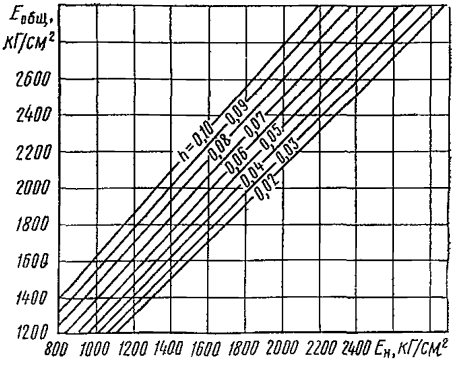


Рис. 10. Модуль упругости слоя $E_в$=10 500 кГ/см²

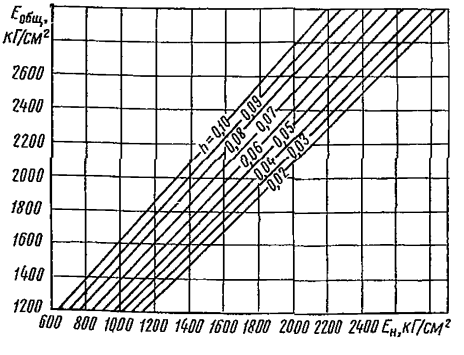


Рис. 11. Модуль упругости слоя $E_в$=10 000 кГ/см²

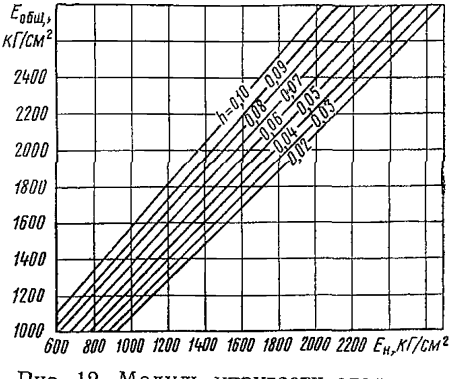


Рис. 12. Модуль упругости слоя $E_в$=9500 кГ/см²

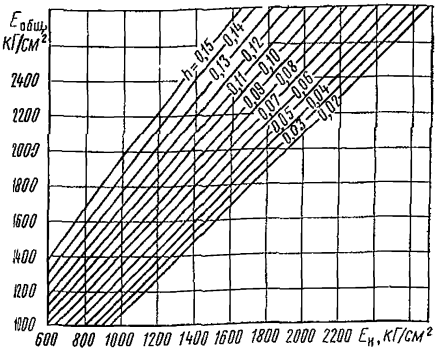


Рис. 13. Модуль упругости слоя $E_в$=9000 кГ/см²

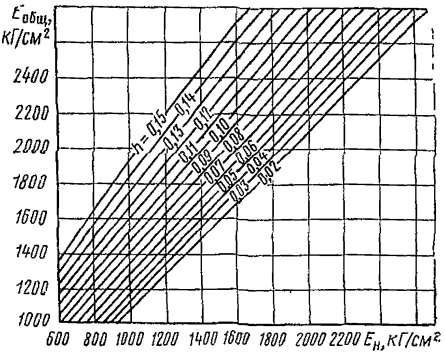


Рис. 14. Модуль упругости слоя $E_в$=8500 кГ/см²

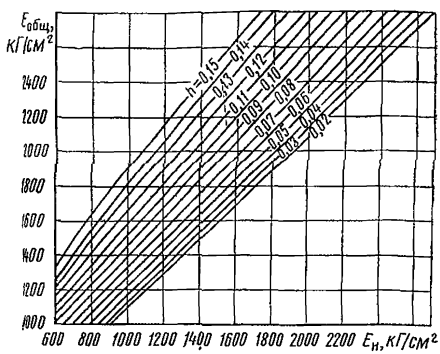


Рис. 15. Модуль упругости слоя $E_в$=8000 кГ/см²

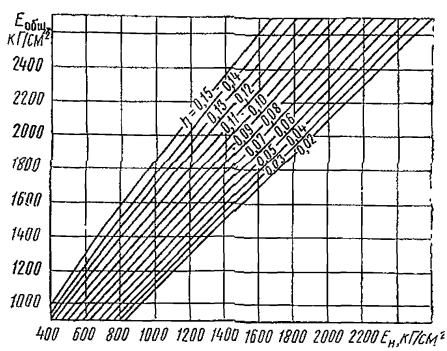


Рис. 16. Модуль упругости слоя $E_в$=7500 кГ/см²

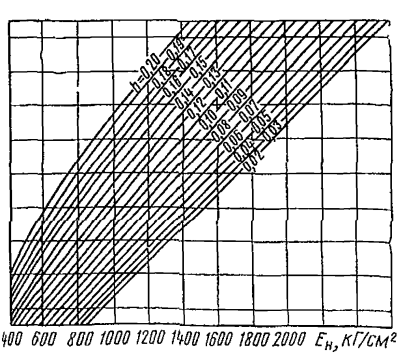


Рис. 17. Модуль упругости слоя $E_в$=7000 кГ/см²

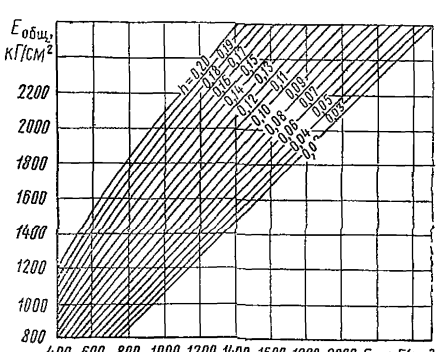


Рис. 18. Модуль упругости слоя $E_в$=6500 кГ/см²

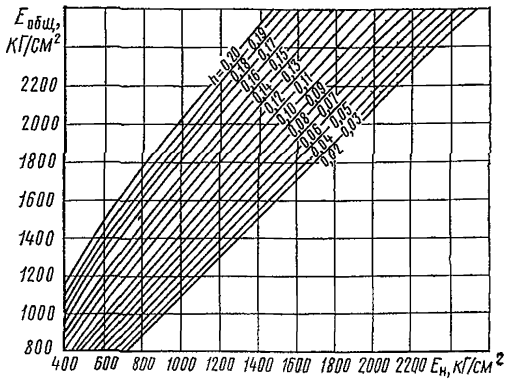


Рис. 19. Модуль упругости слоя $E_в$=6000 кГ/см²

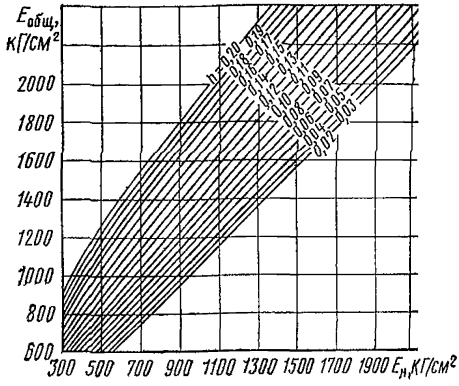


Рис. 20. Модуль упругости слоя $E_в$=5500 кГ/см²

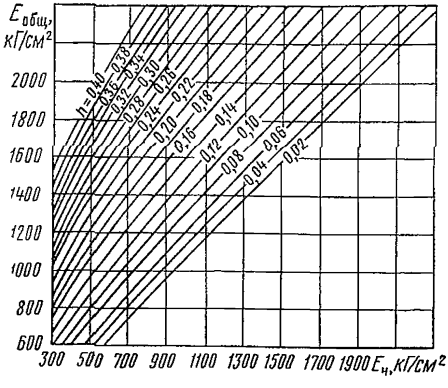


Рис. 21. Модуль упругости слоя $E_в$=5000 кГ/см²

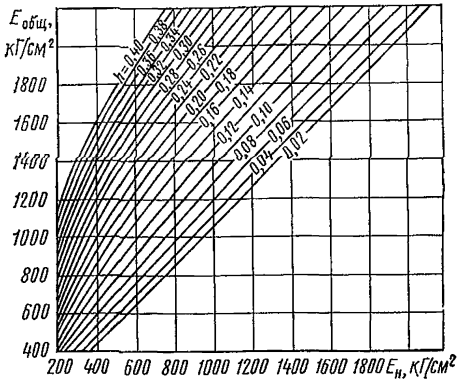


Рис. 22. Модуль упругости слоя $E_в$=4500 кГ/см²

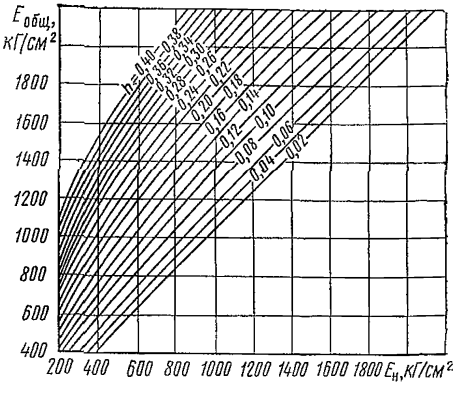


Рис. 23. Модуль упругости слоя $E_в$=4000 кГ/см²

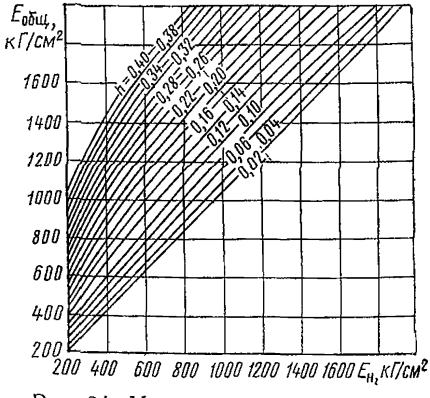


Рис. 24. Модуль упругости слоя $E_в$=3500 кГ/см²

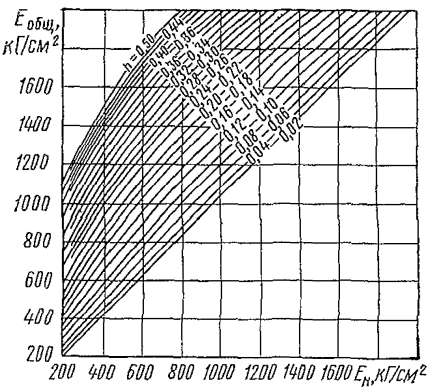


Рис. 25. Модуль упругости слоя $E_в$=3000 кГ/см²

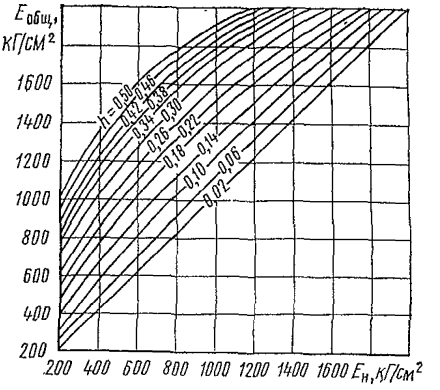


Рис. 26. Модуль упругости слоя $E_в$=2500 кГ/см²

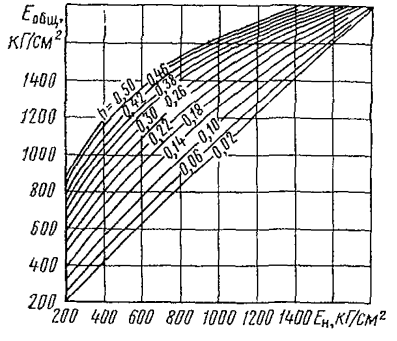


Рис. 27. Модуль упругости слоя $E_в$=2000 кГ/см²

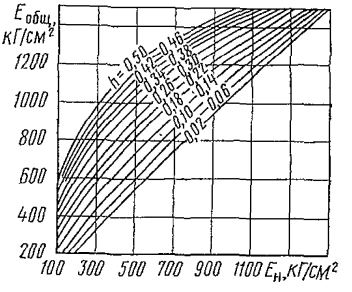


Рис. 28. Модуль упругости слоя $E_в$=1750 кГ/см²

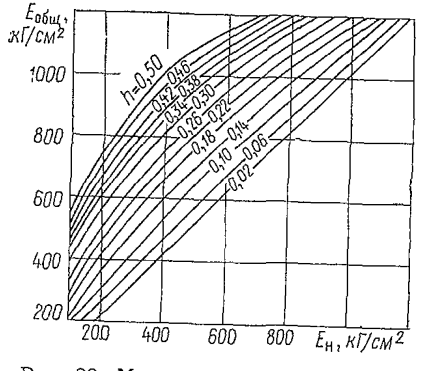


Рис. 29. Модуль упругости слоя $E_в$=1500 кГ/см²

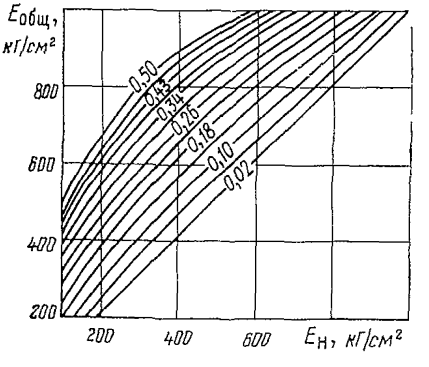


Рис. 30. Модуль упругости слоя $E_в$=1250 кГ/см²

Толщины слоев дорожной одежды h обозначены на наклонных линиях в долях метра. По вертикальной оси отложены значения модуля упругости $E_{общ}$ на поверхности данного слоя, имеющего модуль упругости $E_в$. На горизонтальной оси нанесены значения модуля упругости $E_н$ на поверхности нижнего слоя.

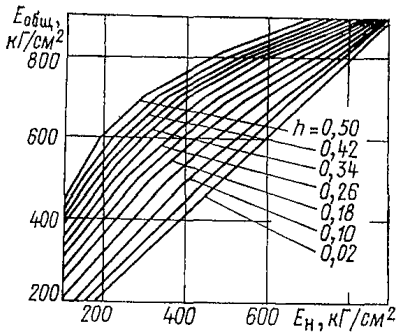


Рис. 31. Модуль упругости слоя $E_в$=1000 *кГ/см²*

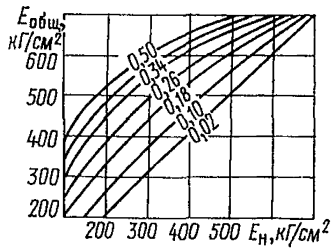


Рис. 32. Модуль упругости слоя $E_в$=800 *кГ/см²*

4. Номограммы составлены при D=33 *см* (нагрузки по группе А и Н-10); при других диаметрах нагруженной площади они могут быть использованы лишь для приближенных расчетов.

ПРИМЕР 1

Определить толщину верхнего слоя асфальтобетонного покрытия при следующих условиях:

модуль упругости на поверхности нижнего слоя $E_н$=1800 *кГ/см²*; общий модуль упругости на поверхности верхнего слоя должен быть $E_{общ}$=2100 *кГ/см²*;

модуль упругости асфальтобетона верхнего слоя $E_в$=15000 *кГ/см²*.

На пересечении вертикальной линии (см. рис. 1), соответствующей $E_н$=1800 *кГ/см²*; и горизонтальной линии, соответствующей $E_{общ}$=2100 *кГ/см²*, находим толщину слоя h=0,04 *м*=4 *см*.

ПРИМЕР 2

Определить модуль упругости $E_н$ на поверхности нижнего слоя, подстилающего слой асфальтобетона толщиной h=5 *см* ($E_в$=10 000 *кГ/см²*). Модуль упругости на поверхности верхнего слоя $E_{общ}$=2000 *кГ/см²*.

По графику (рис. 11), построенному для $E_в$=10 000 *кГ/см²*, на пересечении горизонтальной линии, соответствующей $E_{общ}$=2000 *кГ/см²*, и наклонной линии, соответствующей h=0,05 *м*, находим ординату, для которой $E_н$=1700 *кГ/см²*. Таким образом, модуль упругости на поверхности нижнего слоя составляет 1700 *кГ/см²*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бируля А. К. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд автомобильных дорог. М., «Транспорт», 1964. 168 с.

2. Инструкция по расчету и конструированию полужестких и нежестких дорожных одежд (проект). М., «Транспорт», 1970. 72 с.

3. Методические указания по конструированию и расчету дорожных одежд нежесткого типа с усовершенствованными покрытиями. М., Оргтрансстрой, 1965. 101 с.

4. Методические указания по проектированию морозозащитных и дренирующих слоев в основании проезжей части автомобильных дорог. М., «Оргтрансстрой, 1965. 52 с.

5. Методические рекомендации по осушению земляного полотна и оснований дорожных одежд в районах избыточного увлажнения и сезонного промерзания грунтов. Москва, изд. Союздорнии, 1973, 120 с.

6. Рекомендации по осушению дорожных одежд и верхней части земляного полотна автомобильных дорог (обзорная информация). М., Минавтодор РСФСР, 1970. 67 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Общие положения 3
2. Конструирование дорожной одежды 5
3. Расчет прочности дорожной одежды 10
Расчетные нагрузки 10
Расчет дорожных одежд с усовершенствованными покрытиями . . 11
Расчет дорожных одежд с покрытиями переходного типа . . . 31
Усиление одежд на существующих дорогах 32
4. Осушение и обеспечение морозоустойчивости дорожной одежды . . 33
Осушение 33
Морозоустойчивость дорожной конструкции 46
Приложение 1. Расчетные нагрузки и интенсивность движения . . . 56
Приложение 2. Расчетные характеристики грунтов 58
Приложение 3. Расчетные характеристики материалов 62
Приложение 4. Примеры расчета 67
Приложение 5. Методы экспериментального определения модулей упругости грунтов и материалов 84
Приложение 6. Методы определения прочностных характеристик грунтов и материалов 91
Приложение 7. Оценка прочности нежесткой дорожной одежды по величине прогиба поверхности покрытия под колесом расчетного автомобиля 95
Приложение 8. Уточнение расчетных характеристик грунтов и материалов на основе данных о службе одежд на эксплуатируемых дорогах . . 98
Приложение 9. Методика испытания грунтов и материалов на морозоустойчивость 100
Приложение 10. Номограммы для определения толщин и модулей упругости слоев дорожной одежды 102
Список литературы 109

Министерство транспортного строительства СССР

Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа

Ответственный за выпуск *П. И. Теляев*
Редактор *К. М. Ивановская*
Техн. редактор *Т. А. Гусева*
Корректор *В. Я. Кинареевская*

Сдано в набор 4/VI—1973 г. Подписано в печать 14/XII—1973 г.
Бумага 60×90¹/₁₆ книжно-журн. № 2 Печ. л. 7,0. Уч. изд. л. 8,95 в т. ч. вкл.
Т-19815 Тираж 15 000 Зак. тип. 590 Цена 45 коп. Изд. № 1к-3-1/15 № 6110
Изд-во «Транспорт», Москва, Басманный туп., 6а

Московская типография № 19 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
наб. Мориса Тореза, 34

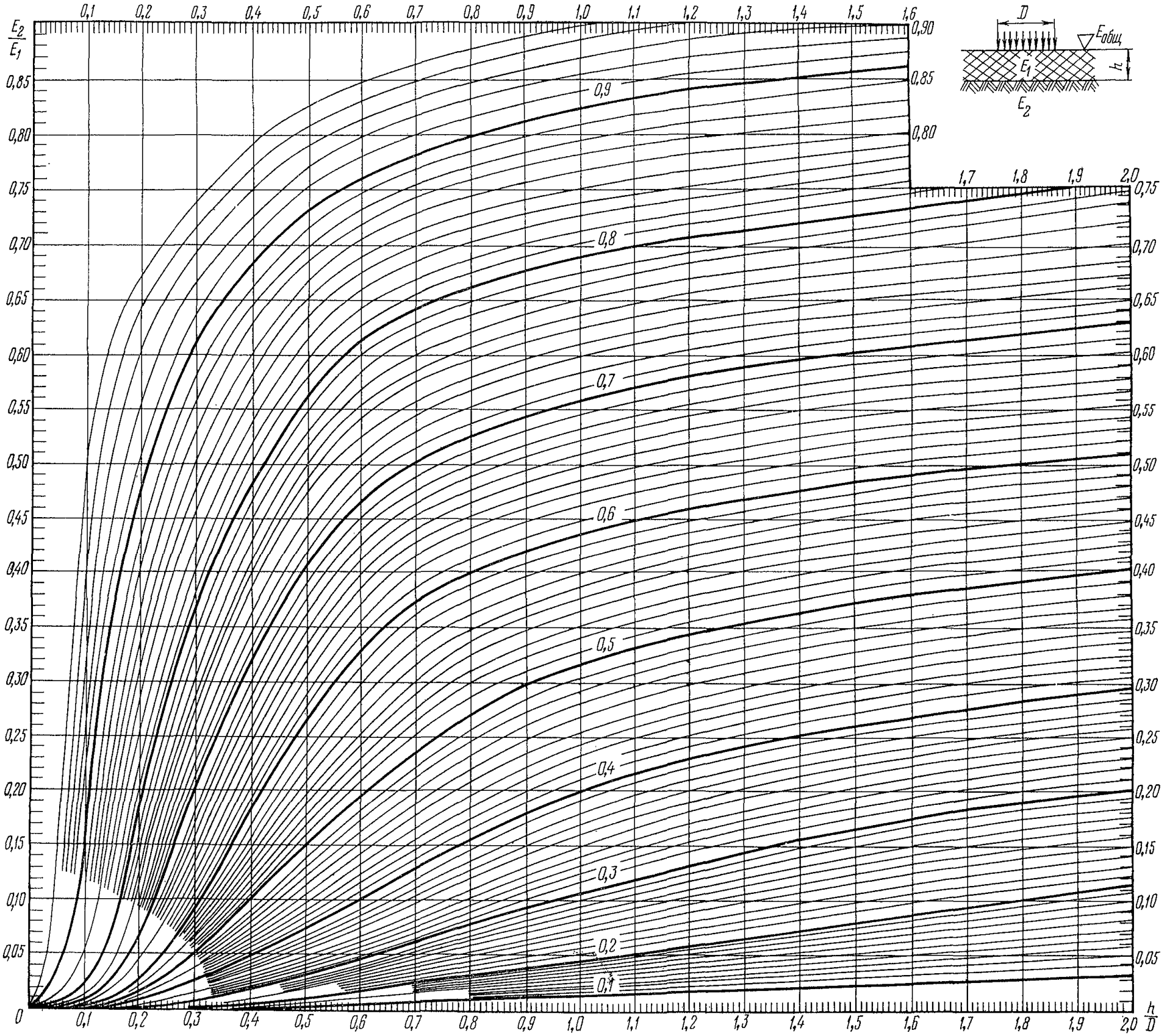


Рис. 2. Номограмма для определения модуля упругости E_1 верхнего слоя двухслойной системы (цифры на кривых означают отношение модуля упругости нижнего слоя к общему модулю упругости двухслойной системы $E_2/E_{общ}$

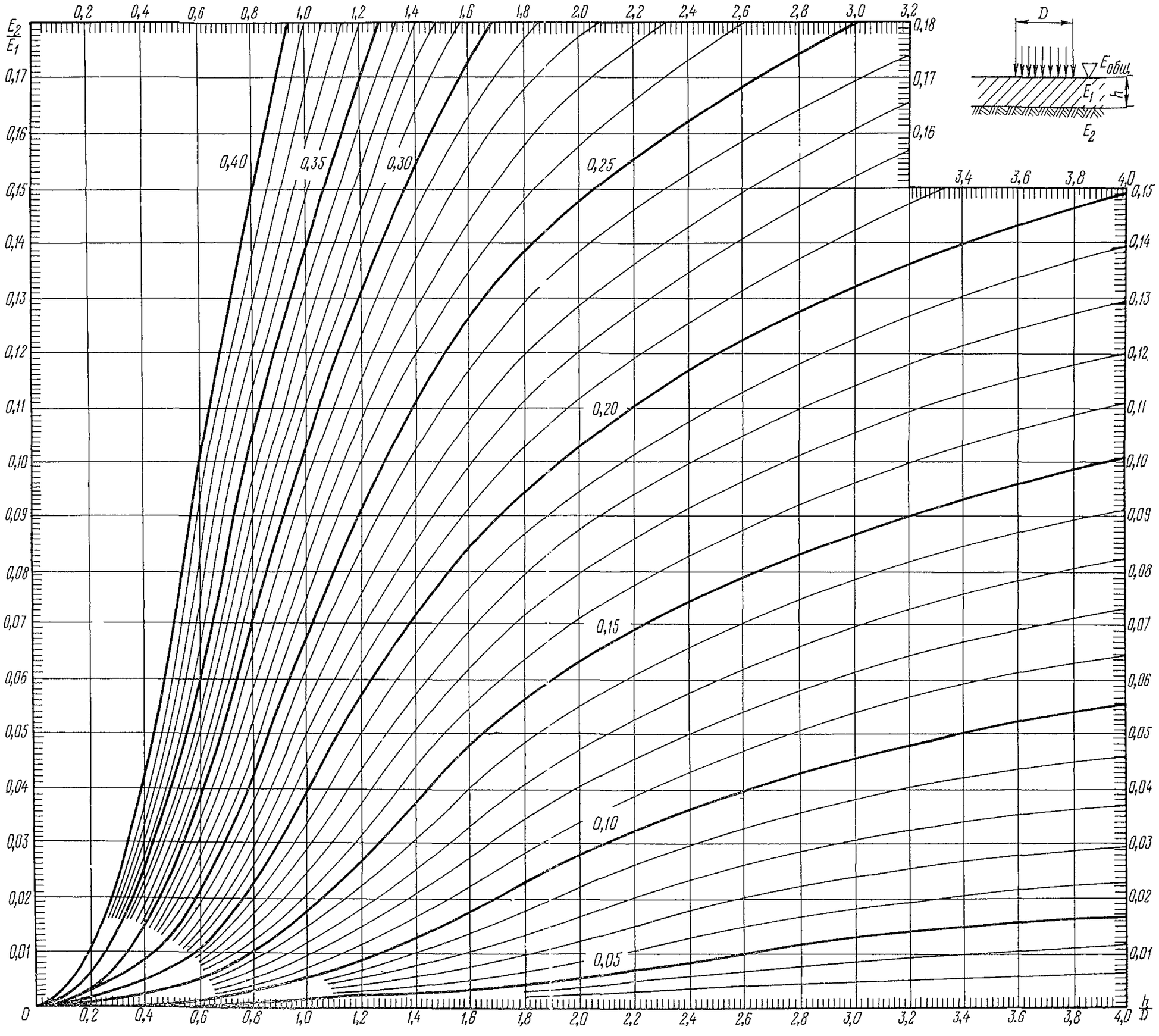


Рис. 3. Номограмма для определения модуля упругости E_1 верхнего слоя двухслойной системы (деталь номограммы рис. 2 в крупном масштабе). Цифры на кривых означают отношение модуля упругости нижнего слоя к общему модулю упругости двухслойной системы $E_2/E_{общ}$.

gost.e-ecolog.ru