В.И.РУВИНСКИЙ

Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из материала STYROFOAM на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока

«ТРАНСПОРТ»

gost.e-ecolog.ru

В. И. РУВИНСКИЙ

Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из материала Styrofoam на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока

Москва "Транспорт" 2001

УДК 625 731
ББК 39 311
Р 82

Рувинский В.И. Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из материала Styrofoam на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока М Транспорт, 2001 38 с

В Пособии указаны задачи, которые можно решать с помощью пенопласта Styrofoam (торговая марка фирмы Дау Кемикал Компани). По сравнению с традиционными решениями дорожной конструкции применение пенопласта позволяет снизить толщину морозозащитного и дренирующего слоев, уменьшить высоту насыпи и глубину выемки, использовать грунты повышенной влажности, снять ограничения движения транспорта в весенний период, устранить пучины на дороге и образование наледи, повысить долговечность и ровность покрытия Показано, что в ряде случаев только пенопласт может обеспечить прочность и морозоустойчивость дорожной конструкции

Представлены результаты исследований по выбору нужной марки пенопласта для устройства теплоизолирующих слоев на автомобильных дорогах.

Изложены принципы проектирования дорожных конструкций с теплоизолирующими слоями из пенопласта

Представлены дорожные конструкции с теплоизолирующими слоями из пенопласта в районах с сезонным промерзанием грунтов и в районах с вечномерзлыми грунтами. Даны номограммы для определения необходимой толщины слоя пенопласта и для расчета толщины морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом.

Брошюра предназначена для инженеров, занятых проектированием и строительством автомобильных дорог, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов Приведенные в брошюре номограммы можно использовать для определения необходимой толщины слоя пенопласта в аэропортах

Ил 7, табл 13, библиогр 8 назв.

ISBN 5-277-02252-X

© В И Рувинский, 2001

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение ... 4

1. Задачи, решаемые с помощью пенопласта ... 6

1.1. Снижение толщины морозозащитного слоя ... 6
1.2. Снижение толщины дренирующего слоя ... 6
1.3. Уменьшение высоты насыпи ... 6
1.4. Уменьшение глубины выемки ... 7
1.5. Использование грунтов повышенной влажности ... 7
1.6. Снятие ограничений движения транспорта ... 8
1.7. Устранение пучин на дорогах ... 9
1.8. Предохранение дороги от разрушения наледями ... 9
1.9. Повышение долговечности и ровности покрытия ... 9
1.10. Задачи, которые можно решить только с использованием пенопласта ... 10

2. Пенопласты, которые можно применять в дорожных конструкциях ... 11

2.1. Условия работы пенопласта в конструкции ... 11
2.2. Испытания пенопласта ... 11

3. Конструкции с теплоизолирующими слоями из пенопласта в районах с сезонным промерзанием ... 13

3.1. Принципы проектирования ... 14
3.2. Конструкции при новом строительстве ... 14
3.3. Конструкции при ремонте и реконструкции ... 17
3.4. Расчет толщины слоя пенопласта ... 18
3.5. Расчет величины пучения грунта ... 27
3.6. Расчет толщины морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом ... 27

4. Конструкции с теплоизолирующими слоями из пенопласта в районах с вечномерзлыми грунтами ... 28

4.1 Принципы проектирования ... 29
4.2. Типы конструкций ... 30
4.3. Расчет толщины слоя пенопласта ... 32
Приложение 1. Среднемноголетние значения глубин промерзания грунтов ... 33
Приложение 2. Техническая характеристика пенопласта ... 35
Приложение 3. Примеры расчетов ... 36
Список литературы ... 38

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время признано необходимым существенно увеличить объем строительства автомобильных дорог в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. На рис. 1 представлена схема дорог первой очереди строительства и реконструкции дорожной сети в указанных регионах. Там нужно будет построить более 1000 км дорог. Одной из важнейших среди них является дорога Чита — Хабаровск. Она проходит по территории с сезонным промерзанием грунтов и островной вечной мерзлотой.

Как обеспечить морозоустойчивость дорожной одежды на дороге Чита — Хабаровск и на других дорогах? Вопрос непростой даже в случае применения традиционных методов регулирования водно-теплового режима земляного полотна. Нет никакой литературы по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта на указанной территории, в том числе по определению необходимой толщины слоя пенопласта для обеспечения морозоустойчивости дорожной одежды. Это и послужило основанием для разработки настоящего Пособия.

Пособие разработано в развитие требований СНиП по устройству теплоизолирующих слоев [2]. Оно позволяет решить целый ряд задач дорожного строительства по обеспечению морозоустойчивости дорожной одежды и прочности и устойчивости земляного полотна в районах с сезонным промерзанием грунтов и вечномерзлыми грунтами.

В Пособии представлены конструкции с пенопластом и методы их расчета. Одни конструкции могут заменить традиционные дорожные конструкции, другие являются единственно возможными при решении задачи по обеспечению морозоустойчивости дорожной одежды и прочности и устойчивости земляного полотна. Пособие позволяет оценить эффективность применения конструкций с пенопластом по сравнению с традиционными конструкциями, для чего в него включен расчет толщины морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом.

В Пособии даны рекомендации по выбору марки пенопласта для устройства теплоизолирующих слоев. Имеются данные многолетних испытаний пенопласта на дорогах России только для марки Styrofoam производства фирмы Дау Кемикал Компани. Эти испытания показали, что упомянутый пенопласт можно использовать для устройства теплоизолирующих слоев на дорогах России [5].

В 2000 г. разработаны Типовые решения [3], утвержденные распоряжением Росавтодора от 14.06.2000, №113-Р. Единственный пенопласт, кото-

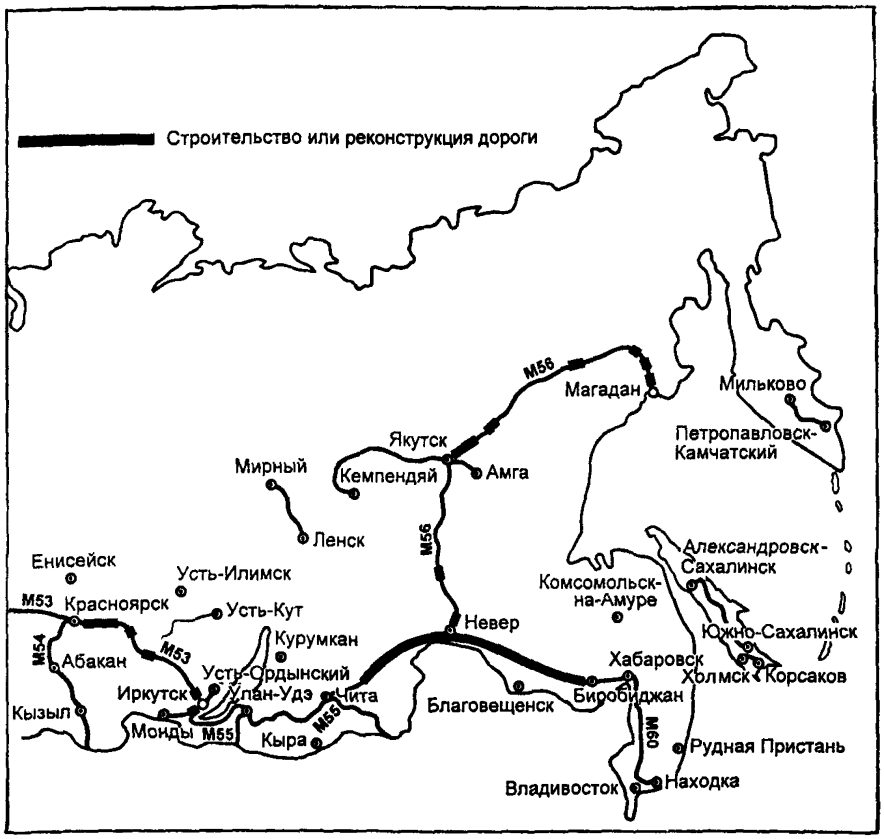


Рис 1 Схема дорог первой очереди строительства и реконструкции дорожной сети на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока с сезонным промерзанием грунтов и островной вечной мерзлотой

Дорога М-53, М-55 «Байкал» Протяженность 237 км (реконструкция)
«Обход г Иркутска» Протяженность 25 км (новое строительство)
Дорога «Чита—Хабаровск» Протяженность 914 км (новое строительство)

рый включен в эти Типовые решения, — это пенопласт Styrofoam марки FLOORMATE 500. Указанную марку пенопласта надо применять при устройстве теплоизолирующих слоев на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока. Пенопласт сертифицирован Минстроем РФ.

В Пособии приведены номограммы, позволяющие определять необходимую толщину слоя пенопласта на автомобильных дорогах в районах с сезонным промерзанием грунтов, которые можно применять для определения необходимой толщины слоя пенопласта в аэропортах. В этом случае следует включать в расчет допустимое значение пучения грунтов согласно нормативам для аэропортов.

1. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ПЕНОПЛАСТА

1.1. Снижение толщины морозозащитного слоя

В районах с сезонным промерзанием грунтов их пучение под дорожной одеждой не должно превышать допустимых значений. Для обеспечения этого требования устраивают морозозащитные слои из кондиционных песков, песчано-гравийной смеси, гравия, укрепленных грунтов и из других непучинистых материалов. На участках дорог, проходящих в низкой насыпи или в выемке, толщина морозозащитного слоя может достигать 1 м и более при высоком уровне стояния подземных вод. При таких условиях трудно обеспечить необходимое количество кондиционных песков и материалов для устройства морозозащитного слоя. Устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта позволяет резко уменьшить толщину или полностью исключить морозозащитный слой.

1.2. Снижение толщины дренирующего слоя

Для обеспечения отвода воды из слоев дорожной одежды и нижележащих грунтов устраивают дренирующий слой из песка. Толщина этого слоя достигает больших размеров на участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, особенно при строительстве дорог 1-й технической категории (из-за большой протяженности пути фильтрации воды в песке). Обеспечить стройку большим объемом песка с коэффициентом фильтрации не менее 2 м/сут часто бывает трудно. Устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта, предотвращающего промерзание грунтов под дорожной одеждой, позволяет уменьшить толщину дренирующего слоя (до 20—25 см), так как в этом случае устраняется основной источник поступления воды в дренирующий слой. При отсутствии промерзания не происходят пучение грунта и последующая его осадка при оттаивании весной с отжатием воды в дренирующий слой.

1.3. Уменьшение высоты насыпи

В районах с сезонным промерзанием грунтов высота насыпи должна быть такой, чтобы не происходило переувлажнение грунтов рабочего слоя земляного полотна. Высота насыпи зависит от грунтов, которые входят в рабочий слой земляного полотна. Толщина рабочего слоя принимается равной 2/3 глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия [2]. Теплоизолирующий слой из пенопласта позволяет уменьшить толщину рабочего слоя благодаря снижению глубины промерзания. В результате этого

можно исключить из рабочего слоя неблагоприятные грунты, что позволяет снизить требования к минимальной высоте насыпи.

Основным принципом строительства автомобильных дорог в районах с вечномерзлыми грунтами является сохранение льдонасыщенных грунтов под подошвой насыпи в твердомерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. При оттаивании таких грунтов они теряют несущую способность и дают осадку, приводящую к разрушению дороги. Для того, чтобы не происходило оттаивание грунтов, устраивают высокую насыпь. Высоту насыпи можно уменьшить в результате устройства теплоизолирующих слоев из пенопласта. Они позволяют сохранить указанные грунты в твердомерзлом состоянии при любой высоте насыпи.

1.4. Уменьшение глубины выемки

При неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях в районах с сезонным промерзанием устраивают в выемках толстые морозозащитные слои. Ту же морозоустойчивость можно обеспечить устройством тонких теплоизолирующих слоев из пенопласта. В результате уменьшения толщины дорожной одежды можно уменьшить глубину выемки при тех же отметках красной линии. В этом случае уменьшается объем земляных работ и облегчаются условия их проведения, особенно в период выпадения дождей.

1.5. Использование грунтов повышенной влажности

Спрашивают: *"Что делать, когда в карьерах имеются только суглинки и глины повышенной влажности? Такие грунты запрещено применять для возведения верхней части (рабочего слоя) земляного полотна, так как их нельзя уплотнить до нормативных значений. Сушить грунты практически невозможно, учитывая большие объемы, кроме того, в любой момент могут пойти дожди и переувлажнить грунты. Выходит, остается только завозить их издалека за десятки, а то и сотни километров?"* [7].

Суглинки и глины повышенной влажности можно использовать для устройства рабочего слоя земляного полотна при условии, что сама природа доуплотнит эти грунты до требуемых нормативных значений и будет сохранять их в таком состоянии в течение всего срока службы сооружения. Как же заставить природу служить дорожному строительству?

Как известно, в рабочем слое земляного полотна происходит круглогодичный процесс изменения плотности-влажности грунтов Этот процесс состоит из четырех основных периодов: набухание осенью, пучение зимой, осадка грунта при оттаивании весной и усадка грунта при высыхании летом. Такие изменения плотности-влажности повторяются каждый год.

Для того, чтобы заставить природу работать в нужном для дорожного строительства направлении, следует, во-первых, устранить период морозного пучения, когда происходят разуплотнение грунта в верхних слоях земляного полотна и накопление там воды, и, во-вторых, обеспечить условия для протекания процесса усадки грунта в летний период. В этом случае достаточно уплотнить суглинки и глины повышенной влажности до плотности 0,93—0,95 от максимальной плотности по ГОСТ 22733—90, а остальное сделает сама природа. Она доуплотнит грунт за счет его усадки в летний период до требуемых нормативных значений.

Устранить период пучения грунта можно путем устройства теплоизолирующего слоя из пенопласта под дорожной одеждой. Толщина этого слоя должна быть такой, чтобы не происходило промерзание грунта. Нет промерзания — нет и пучения грунта. Для того, чтобы происходила усадка грунта, нужно устраивать земляное полотно на участках дороги 1-го и 2-го типов увлажнения рабочего слоя. Характеристика этих типов увлажнения дана ниже в табл. 4.

При выполнении указанных условий строительства существенно увеличивается диапазон влажности суглинков и глин, при которых можно использовать грунт для устройства рабочего слоя. Для дорог с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием дорожной одежды максимально допустимая влажность грунта равна значению влажности, при которой можно уплотнить грунт соответственно до плотности 0,93 и 0,95 от максимальной величины по ГОСТ 22733—90.

При оценке технико-экономической эффективности предложенного решения нужно учитывать, что конструкция с теплоизолирующим слоем из пенопласта, предотвращая промерзание, позволяет одновременно решить и ряд других задач дорожного строительства: исключить из конструкции дорожной одежды морозозащитный слой; уменьшить толщину дренирующего слоя; повысить ровность покрытия во времени; увеличить долговечность дорожной одежды и т.п.

1.6. Снятие ограничений движения транспорта

В весенний период вводят ограничения движения транспорта на участках дорог с недостаточной несущей способностью грунтов земляного полотна. Устройство теплоизолирующих слоев из пенопласта позволяет предотвратить промерзание пучинистых грунтов под дорожной одеждой. В результате этого устраняется основной фактор разуплотнения грунтов рабочего слоя земляного полотна. Плотность ненабухающих и слабонабухающих грунтов почти не меняется в процессе эксплуатации дороги. Влажность грунтов, уплотненных до нормативных значений, также меняется мало. При таких условиях несущая способность грунтов рабочего слоя не меняется по сезонам года. Благодаря этому фактору проезд транспорта по дороге будет обеспечен в течение всего года

1.7. Устранение пучин на дорогах

Одной из задач дорожной службы является устранение пучин на существующей сети автомобильных дорог. *Пучинами* называют деформации дорожных одежд и земляного полотна, приводящие зимой к взбугриванию и потере ровности покрытия, а в период оттаивания при проезде автомобилей — к проломам одежды, вызванным снижением прочности переувлажненных грунтов.

В условиях России пучины серьезно осложняют эксплуатацию дорог [6].

Устранить пучины — это значит уменьшить или полностью исключить пучение грунтов. Наиболее эффективным средством борьбы с пучинами является устройство теплоизолирующих слоев из пенопласта. Борьба с пучинами традиционными методами во многих случаях малоэффективна, а в ряде случаев просто невозможна.

1.8. Предохранение дороги от разрушения наледями

Большая советская энциклопедия дает следующее определение: "Наледь — ледяное тело, образующееся в результате замерзания речных или подземных вод, излившихся на дневную поверхность или в полость в горных породах вследствие напорной разгрузки подземных или поверхностных вод при перемерзании русел рек или водоносных горизонтов". Наиболее широко распространены наледи в области многолетнемерзлых грунтов, но они характерны для районов глубокого сезонного промерзания. Площади наледи колеблются от десятков и сотен квадратных метров до сотен квадратных километров и более. Наиболее крупные наледи наблюдаются в Якутии и на северо-востоке России. Наледи имеются и на территории Дальнего Востока [8]. Площадь развития составляет от 1×10^2 до 1×10^7 м^2.

Среди неблагоприятных явлений природы наледи представляют наибольшую угрозу для дорожных сооружений.

Борьба с наледями путем устройства теплоизолирующих слоев из пенопласта заключается в решении двух основных задач: в предохранении от оттаивания существующего ледяного тела и в устранении промерзания водоносных горизонтов.

1.9. Повышение долговечности и ровности покрытия

В результате пучения и осадки грунтов происходят ежегодные неравномерные поднятие и опускание дорожной одежды в районах с сезонным промерзанием. Это оказывает негативное влияние на долговечность и ровность покрытия.

Устройство теплоизолирующих слоев из пенопласта позволяет предотвратить промерзание пучинистых грунтов под дорожной одеждой Нет промерзания — нет и пучения, нет и осадки грунта при оттаивании.

При таких условиях несущая способность грунтов рабочего слоя не меняется по сезонам года. Только благодаря этому фактору долговечность покрытия увеличивается примерно на 30 % по сравнению с долговечностью традиционной дорожной конструкции. Срок службы конструкции с пенопластом значительно больше указанного значения, так как не происходит ежегодного неравномерного поднятия и опускания дорожной одежды, которое во многом определяет долговечность сооружения.

При устранении указанного поднятия и опускания дорожной одежды не происходит ухудшения ровности покрытия в процессе эксплуатации дороги.

1.10. Задачи, которые можно решить только с использованием пенопласта

Одним из таких случаев является реконструкция пучинистого участка дороги, проходящего в низкой насыпи, при высоком уровне стояния подземных вод в равнинной местности. Для устранения там пучин нельзя поднять высоту насыпи или снизить уровень подземных вод. Нельзя также устраивать толстую дорожную одежду, так как в этом случае низ морозозащитного слоя будет находиться ниже уровня подземных вод. При таких условиях только с помощью пенопласта можно обеспечить требуемую морозоустойчивость дорожной одежды. Другим случаем является вынужденное устройство земляного полотна в низкой насыпи в районах с вечномерзлыми грунтами. Если не устраивать теплоизолирующий слой из пенопласта, то происходит оттаивание льдонасыщенных грунтов под подошвой насыпи, вследствие чего дорога разрушается. Применение пенопласта позволяет предотвратить оттаивание грунтов и сохранить дорогу.

Кроме указанных случаев, пенопласт, как правило, незаменим в борьбе с наледями.

2. ПЕНОПЛАСТЫ, КОТОРЫЕ МОЖНО ПРИМЕНЯТЬ В ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

2.1. Условия работы пенопласта в конструкции

Пенопласт в конструкции подвергается воздействию силовых и природных факторов. Действие повторяющихся кратковременных нагрузок от транспорта вызывает деформации при сжатии и изгибе пенопласта. Воздействие природных факторов на пенопласт проявляется в промораживании и оттаивании, увлажнении и высушивании, неравномерном поднятии и опускании теплоизолирующего слоя. Температурный градиент по толщине слоя пенопласта достигает в условиях России 1,5 град/см и более. Действие нагрузок от транспорта проходит в условиях, когда верхняя часть слоя пенопласта находится в талом состоянии, а нижняя — в мерзлом и наоборот. При таком совместном воздействии силовых и природных факторов трудно моделировать работу пенопласта в конструкции.

Основная причина разрушения пенопласта — это усталость материала. Главный критерий назначения необходимой марки пенопласта — это результаты натурных наблюдений.

2.2. Испытания пенопласта

Выбор нужной марки пенопласта следует проводить в два этапа. На первом этапе нужно определить в лабораторных условиях физико-механические показатели пенопласта и сравнить их с требуемыми значениями. Они следующие: прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации по ГОСТ 17177—87 не менее 0,4 МПа; предел прочности при изгибе по ГОСТ 17177—87 не менее 0,7 МПа; водопоглощение по ГОСТ 15888—86 не более 0,45 %. Если пенопласт удовлетворяет указанным требованиям, переходят ко второму этапу испытаний материала. Они заключаются в определении долговечности пенопласта в конструкциях эксплуатируемых сооружений.

По указанию Минтрансстроя в 1983—1995 гг. были проведены испытания пенопласта Styrofoam марки HI-50 на дороге Омск — Новосибирск (район с сезонным промерзанием) и на межпромысловой автодороге "Уренгой-185" (район с вечномерзлыми грунтами). Участок дороги Омск — Новосибирск с теплоизолирующими слоями из пенопласта Styrofoam находится в районе города Чулым [5]. Этот район характеризуется суровыми морозными зимами, жарким летом и неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями. По данным Гидрометцентра России температура воздуха зимой достигает здесь минус 50 °С, а летом — плюс 38 °С. В период испытания пенопласта сумма отрицательных градусо-суток составила от 1133 до 2575 за одну зиму.

Таблица 1

Показатель физико-механических свойств пенопласта	Нормативный документ, регламентирующий метод определения показателя	Значения показателя	
		начальное	конечное
Плотность, кг/м³	DIN 53420 ГОСТ 15588—86	38/	/43,1
Прочность на сжатие при 10 %-ной линейной деформации, МПа	DIN 53421 ГОСТ 17177—87	0,40/	/0,48
Модуль упругости, МПа	DIN 53421 ГОСТ 23404—86	15/	/19,2
Теплопроводность при температуре 10 °С, Вт/(м К)	DIN 52612	0,027	.
Теплопроводность в сухом состоянии при температуре 20 °С, Вт/(м К)	ГОСТ 7076—87	.	0,0286
Теплопроводность в водонасыщенном состоянии при температуре 20 °С и весовой влажности, равной 4,6 %, Вт/(м К)	ГОСТ 7076—87	.	0,0301
Водопоглощение всего листа, % по объему	DIN 53434	0,2	.
Водопоглощение после 300 циклов промерзания-оттаивания, % по объему	DIN 53434	1,0	...
Водопоглощение за 24 ч, % по объему	ГОСТ 15588—86	..	0,53

Дорога на экспериментальном участке проходит на местности с необеспеченным поверхностным стоком. Верховодка отмечена на глубине 0,5—1,7 м от поверхности земли. Земляное полотно из легкой пылеватой глины проходит в насыпи высотой 1,65 м. Тот же грунт залегает под подошвой насыпи. Дорожная одежда на экспериментальном участке имеет цементобетонное покрытие. В течение 12 лет пенопласт Styrofoam находился в дорожной одежде. Для оценки его долговечности были отобраны образцы пенопласта с экспериментального участка дороги Омск — Новосибирск, которые были испытаны в испытательном центре "Стройполимертест". Результаты этих испытаний представлены в табл. 1.

Из приведенных в табл. 1 данных можно сделать вывод о том, что пенопласт Styrofoam почти не изменил свои свойства в процессе эксплуатации дороги. Произошло только некоторое его сжатие в период строительства дорожной одежды. Результаты испытаний показали, что пенопласт Styrofoam марки HI-50 можно применять для устройства теплоизолирующих слоев на автомобильных дорогах. Изменилась номенклатура пенопластов, выпускаемых фирмой Дау Кемикал Компани: вместо марки HI-50 нужно применять марку FIOORMATE 500.

В настоящее время только пенопласт Styrofoam прошел испытания на дорогах России Он прекрасно зарекомендовал себя и включен в Типовые решения [3].

3. КОНСТРУКЦИИ С ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИМИ СЛОЯМИ ИЗ ПЕНОПЛАСТА В РАЙОНАХ С СЕЗОННЫМ ПРОМЕРЗАНИЕМ

Районы с сезонным промерзанием грунтов находятся на территории дорожно-климатической подзоны I_3 и зоны II (рис. 2).

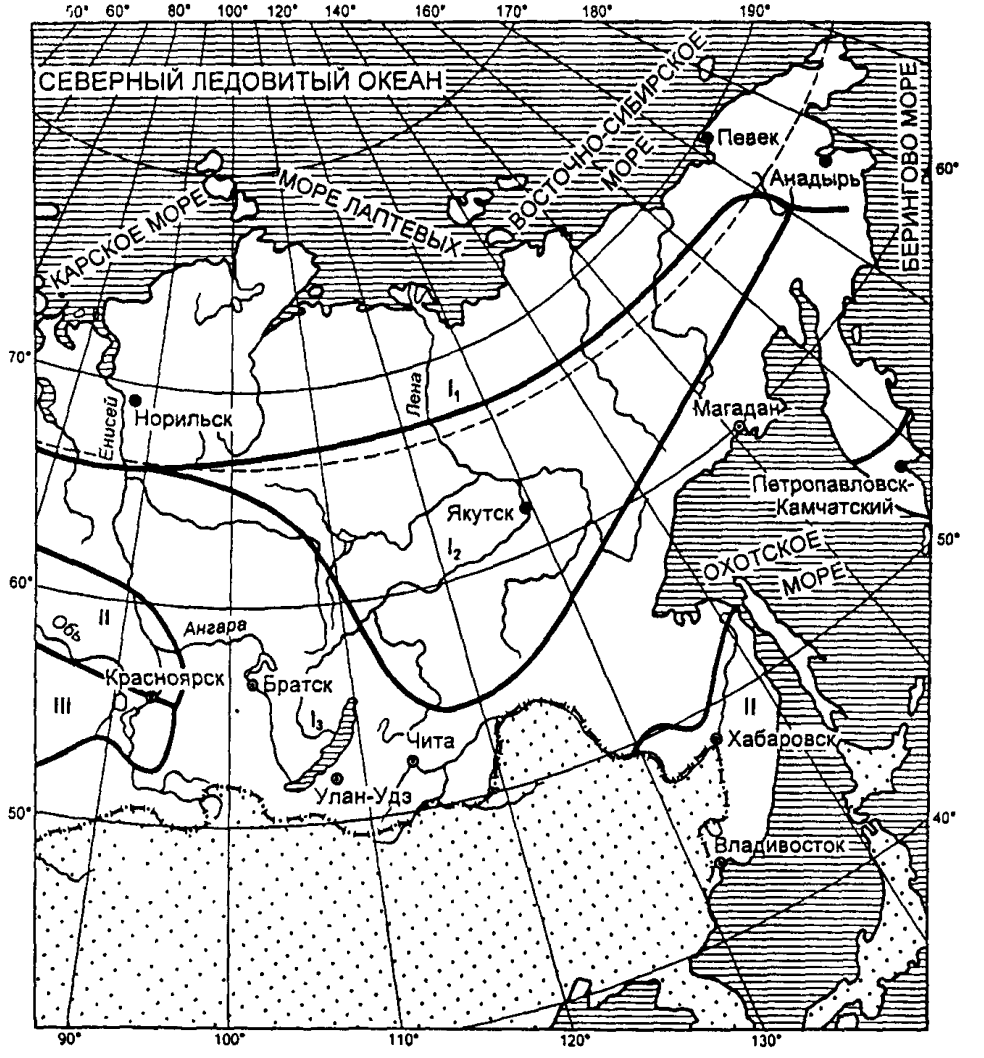


Рис 2 Карта дорожно-климатического районирования Восточной Сибири и Дальнего Востока

— граница дорожно-климатических зон, I_3 — дорожно-климатическая зона с островной вечной мерзлотой, II — дорожно-климатическая зона с глубоким сезонным промерзанием

3.1. Принципы проектирования

Конструкция дорожной одежды должна удовлетворять нормативным требованиям по прочности, морозоустойчивости и дренированию [2]. В соответствии с требованиями по морозоустойчивости необходимо, чтобы пучение грунтов под дорожной одеждой не превышало допустимых значений. В России допускают на дорогах пучение грунтов $L_{доп}$ = 3 см при устройстве цементобетонного монолитного покрытия; $L_{доп}$ = 4 см при устройстве сборного покрытия, а также при устройстве дорожной одежды капитального типа с асфальтобетонным покрытием; $L_{доп}$ = 6 см при устройстве дорожной одежды облегченного типа с асфальтобетонным покрытием. Для дорог международного класса допустимое пучение грунтов под дорожной одеждой не должно превышать 2 см.

Допустимое значение пучения грунтов определяет заказчик строительства автомобильной дороги; оно не должно превышать значений, приведенных выше. Чем меньше допустимое значение пучения грунтов, тем лучше ровность покрытия в процессе эксплуатации дороги и больше срок службы дорожной одежды. Устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта позволяет уменьшить морозное пучение грунта благодаря снижению глубины промерзания земляного полотна.

Определение необходимой толщины слоя пенопласта нужно проводить для конструкции дорожной одежды, удовлетворяющей требованиям по прочности и дренированию. Толщину пенопласта устанавливают с учетом срока службы дорожной одежды между капитальными ремонтами, типа увлажнения рабочего слоя земляного полотна, глубины залегания подземных вод от низа дорожной одежды и грунтов. При залегании грунтов разных типов в пределах глубины промерзания нужно включать в расчет показатели грунта с наибольшей степенью пучинистости.

Теплоизолирующий слой из пенопласта Styrofoam нужно располагать на глубине не менее 0,5 м от поверхности покрытия для того, чтобы частота образования гололедицы на покрытии не превышала 10 % по сравнению с участком, имеющим традиционную конструкцию дорожной одежды [3, 4].

В местах примыкания участков дороги на островной вечной мерзлоте нужно устраивать переходные зоны, аналогичные описанной в п. 3.3.

3.2. Конструкции при новом строительстве

При проектировании можно использовать 6 основных типов решений дорожной конструкции с теплоизолирующим слоем из пенопласта Styrofoam Нужное решение выбирают в зависимости от конструкции дорожной одежды, запроектированной по условиям обеспечения прочности и дренирования, и стоимости конструкции.

При оттаивании пучинистых грунтов происходит их осадка с отжатием воды. Эта вода должна отводиться из-под дорожной одежды. Поэтому в

конструкции типа C_2 (рис. 3) нужно применять плиты пенопласта, имеющие прямую форму кромки для того, чтобы вода могла поступать в дренирующий слой через щели между плитами

При толщине пенопласта, предотвращающей промерзание грунтов, не происходит поступление воды снизу в дренирующий слой. В этом случае нужно применять в конструкции типа C_2 плиты пенопласта, имеющие паз-выступ или ступенчатую форму кромки, для того, чтобы атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дороги, не просачивались в грунт под дорожной одеждой.

В конструкции типа В применяют плиты пенопласта, имеющие паз-выступ или ступенчатую форму кромки. В этом случае теплоизолирующий слой из пенопласта выполняет полностью или частично функцию гидро-

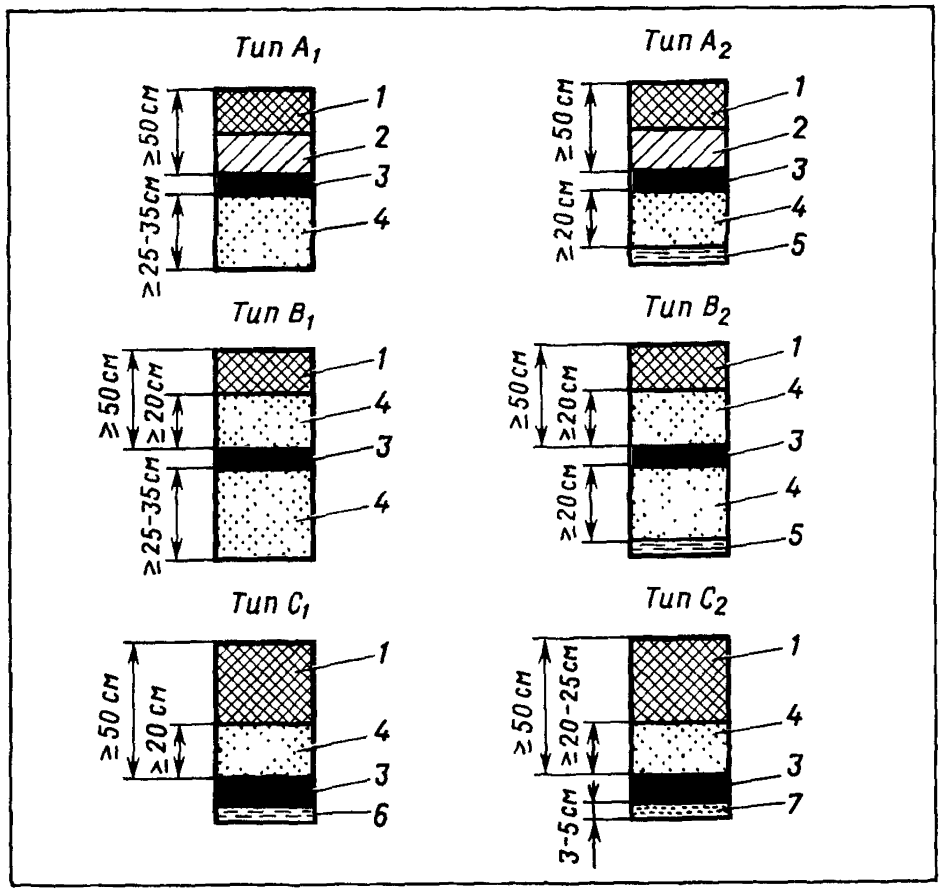


Рис 3 Основные типы конструкций дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из пенопласта Styrofoam, применяемые при новом строительстве

1 — покрытие и основание дорожной одежды, *2* — слой основания из цементобетона, *3* — пенопласт Styrofoam, *4* — дренирующий слой из песка, *5* — противозаиливающая прослойка из геотекстиля, *6* — дренирующая прослойка из геотекстиля, *7* — выравнивающий слой из песка

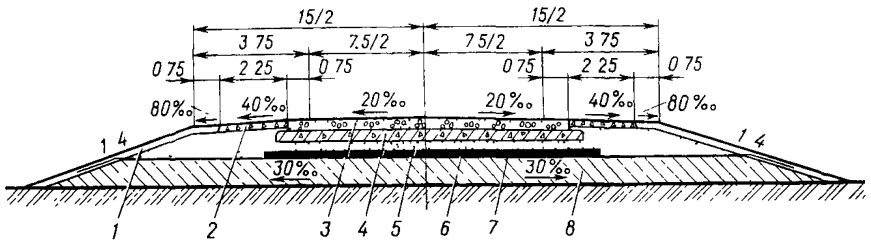


Рис 4 Поперечный профиль дорожной конструкции типа C_1

1 — засев трав по слою растительности грунта толщиной 0,15 м, *2* — щебеночный материал (0,1 м) с разливом битума (1,5 л/м^2), *3* — цементобетон (0,24 м), *4* — щебень, укрепленный 6 % цемента (0,21 м), *5* — песок (0,20 м), *6* — пенопласт Styrofoam (0,10 м), *7* — геотекстиль «дорнит», *8* — грунт (глина легкая пылеватая)

изолирующего слоя. В зависимости от источника поступления воды и условий ее отвода из дорожной одежды применяют плиты с соответствующей формой кромки для остальных конструкций, представленных на рис. 3. Толщина дренирующего слоя зависит от коэффициента фильтрации песка. При 3 м/сут и более минимальная толщина дренирующего слоя в конструкции типа C_2 составляет 20 см, при коэффициенте фильтрации менее 3 м/сут — 25 см

На рис. 4 показан поперечный профиль дорожной конструкции типа C_1 (размеры даны в метрах). Такая конструкция построена на дороге Омск — Новосибирск и может найти применение в рассматриваемом регионе.

Теплоизолирующий слой из пенопласта должен быть шире проезжей части на 0,5—1,5 м для изоляции грунтов под дорожной одеждой от действия холода со стороны обочин. Если промерзание грунтов под дорожной одеждой не допускается, это значение должно составлять 1,0—2,0 м.

Особенности производства работ заключаются в следующем. Плиты пенопласта укладывают на песок или геотекстиль. Предварительно песок уплотняют и выравнивают, так же, как и грунт земляного полотна под геотекстилем. Плиты должны опираться по всей площади на песок или геотекстиль. Для удержания каждой плиты на месте используют минимум два деревянных колышка, забиваемых заподлицо с поверхностью теплоизолирующего слоя. Работа строительного оборудования непосредственно по теплоизолирующему слою из пенопласта не допускается. В конструкциях типа В и С первый над плитами Styrofoam слой песка нужно отсыпать на толщину не менее 0,2 — 0,25 м в плотном теле способом "от себя". Толщина слоя песка зависит от типа уплотняющих средств. После уплотнения этого слоя песка можно придерживаться обычной строительной практики.

В конструкциях типа А цементобетон можно укладывать непосредственно на плиты пенопласта Styrofoam.

3.3. Конструкции при ремонте и реконструкции

Ремонт (реконструкцию) пучинистого участка дороги нужно проводить таким образом, чтобы после завершения строительных работ выполнялись следующие требования:

пучение грунта в местах сопряжения со "здоровым" участком дороги должно быть равно значению пучения на этом "здоровом" участке;

пучение грунта в средней части ремонтируемого (реконструируемого) участка дороги не должно превышать допустимого значения для принятого типа покрытия;

интенсивность изменения пучения грунта по длине ремонтируемого (реконструируемого) участка дороги не должна превышать допустимого значения.

При выполнении этих требований повышается долговечность дорожной одежды и предотвращается появление трещин в покрытии в местах сопряжения со "здоровым" участком дороги из-за различий в значениях пучения грунтов.

На подходе к "здоровому" участку дороги нужно устраивать переходную зону с переменной толщиной слоя пенопласта. Длина этой зоны (в метрах)

$$l_{пз} = (L_{доп} - h_{доп(о)})/i_{пз}, \qquad (1)$$

где $L_{доп}$ — допустимое значение пучения грунта на участке ремонта (реконструкции) дороги, см; $h_{доп(о)}$ — значение пучения грунта на "здоровом" участке дороги, см; $i_{пз}$ — допустимая интенсивность изменения пучения грунта по длине переходной зоны, см/м.

В расчет следует включать следующие значения $i_{пз}$: 0,1 см/м при устройстве цементобетонного покрытия, 0,2 см/м при устройстве асфальтобетонного покрытия.

На участке с пучинами грунт разуплотнен и переувлажнен. Ремонт (реконструкцию) этого участка начинают с восстановления несущей способности земляного полотна. Это осуществляют двумя способами. Первый способ — удаление переувлажненного и разуплотненного грунта и замена его другим грунтом с последующим уплотнением до нормативной плотности. Второй способ предусматривает укладку под дорожной одеждой армирующей прослойки из геотекстиля. В этом случае не требуется удаление грунта, а нужно его уплотнение с поверхности до максимального значения, соответствующего его влажности. При применении первого способа повышения несущей способности земляного полотна можно устраивать на пучинистом участке конструкции дорожной одежды, показанные на рис. 3; при применении второго способа можно применять те же конструкции, но с дополнительным устройством под ними армирующей прослойки из геотекстиля типа "Typar" марки 3857.

3.4. Расчет толщины слоя пенопласта

Для расчета необходимы следующие исходные данные:

географическое местоположение рассматриваемого участка дороги,

номер дорожно-климатической зоны и подзоны, в которой находится или проектируется дорога (см. рис. 2, табл. 2 и 3);

Таблица 2

Характеристика дорожно-климатических подзон на территории Дальнего Востока		
Наименование грунта по ГОСТ 25100—95	Среднемноголетнее значение влажности грунта (доли от W_L) весной в слое земляного полотна под дорожной одеждой с усовершенствованным покрытием до глубины 1,5 м от верха покрытия на участках дорог с необеспеченным поверхностным стоком (2-й тип увлажнения рабочего слоя по табл 4)	Номер подзоны
Супесь песчанистая	Более 0,60	II_1
Песок пылеватый	Более 0,62	
Суглинок легкий песчанистый, суглинок тяжелый песчанистый, глина	Более 0,65	
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	Более 0,70	
Супесь песчанистая	0,59—0,60	II_2
Песок пылеватый	0,61—0,62	
Суглинок легкий песчанистый, суглинок тяжелый песчанистый, глина	0,63—0,65	
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	0,67—0,70	
Супесь песчанистая	Менее 0,59	II_3
Песок пылеватый	Менее 0,61	
Суглинок легкий песчанистый, суглинок тяжелый песчанистый, глина	Менее 0,63	
Супесь пылеватая, суглинок легкий пылеватый, суглинок тяжелый пылеватый	Менее 0,67	

Примечание W_L — влажность грунта на границе текучести

Таблица 3

Примерные географические границы дорожно-климатических подзон на территории Дальнего Востока	Номер подзоны
Территория, расположенная юго-восточней линии п. Терней — с Чугуевка — с. Михайловка — п Пограничный	II_1
Районы западных отрогов хребта Сихотэ-Алинь	II_2
Районы Средне-Амурской и Нижне-Амурской равнины Юго-восточная часть Зейско-Буреинской равнины	II_3

Примечание Южной границеи дорожно-климатической зоны с островной вечной мерзлотой на территории Дальнего Востока является линия порт Маго — Комсомольск-на-Амуре — Биробиджан — Облучье — Завитинск — устье реки Селемджи — Шимановск — Кумара (на Амуре)

конструкция дорожной одежды (наименование и толщина слоев) без теплоизолирующего слоя, необходимая по условиям прочности и дренирования,

Таблица 4

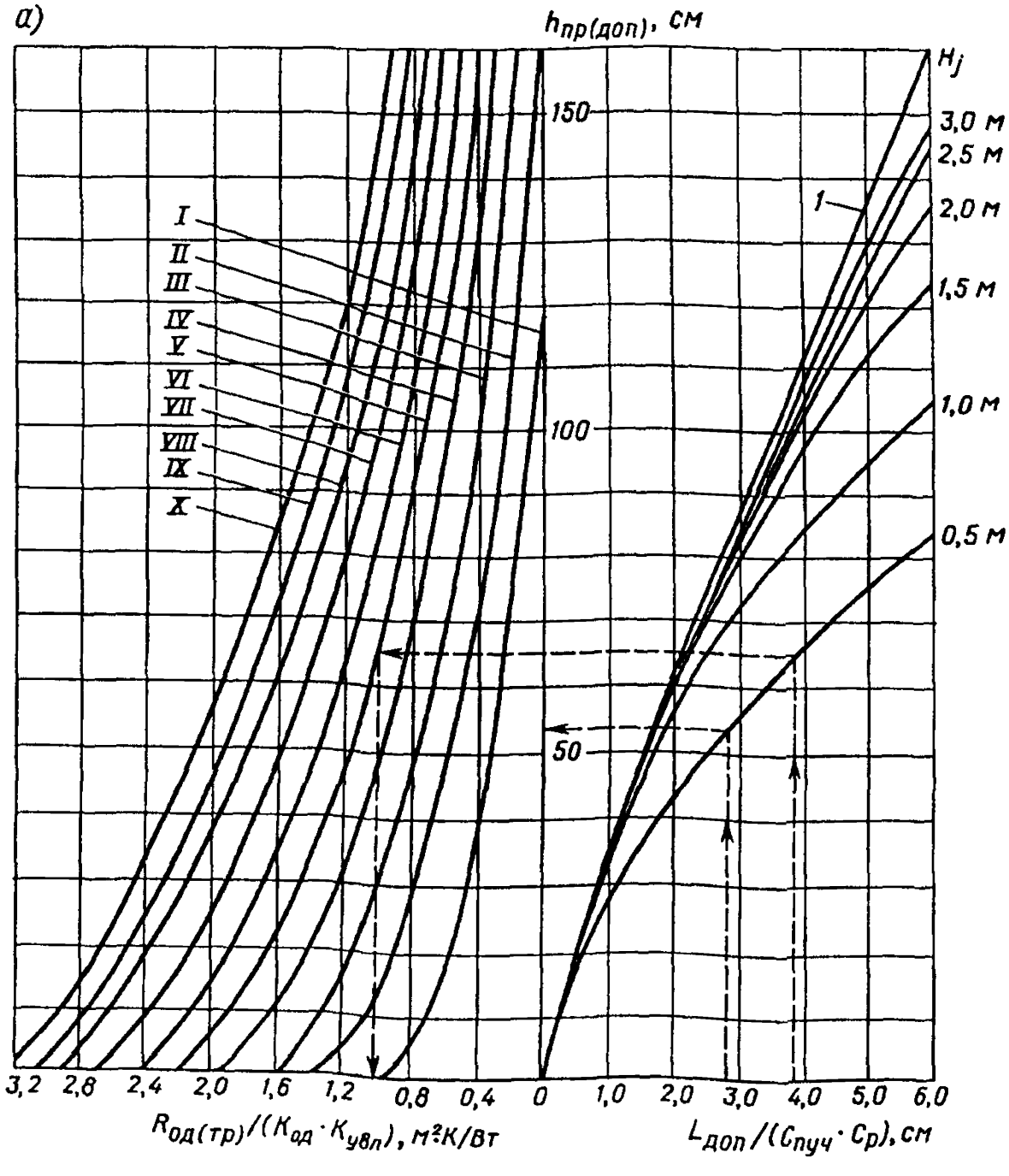
Тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна на участках с сезонным промерзанием грунтов	Источники увлажнения	Условия отнесения к данному типу увлажнения
1	Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дороги	Поверхностный сток на местности обеспечен и подземные воды находятся на "безопасной" глубине (см табл 5), или поверхностный сток на местности не обеспечен, но поверхностные воды находятся на "безопасном" расстоянии от подошвы насыпи (см. табл. 6), а подземные воды залегают на "безопасной" глубине, в выемке уклон кюветов не менее 20 ‰, а подземные воды находятся на "безопасной" глубине; или в дорожной конструкции имеются капилляропрерывающие, гидроизолирующие или теплоизолирующие прослойки, устраняющие приток поверхностных и подземных вод в рабочий слой земляного полотна
2	Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дороги, плюс кратковременно стоящие поверхностные воды на местности	Участки местности с необеспеченным поверхностным стоком, на которых расстояние от уреза воды до подошвы насыпи менее величин, указанных в табл. 6, а уклон кюветов в выемке менее 20 ‰ При этом поверхностные воды замерзают в зимний период, а подземные воды находятся на "безопасной" глубине
3	Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дороги, плюс длительно стоящие поверхностные воды на местности	Участки местности с необеспеченным поверхностным стоком, на которых поверхностная вода вызывает появление верховодки под дорожной одеждой, или участки местности с необеспеченным поверхностным стоком, на которых вода у откоса насыпи не замерзает в зимний период;
	Атмосферные осадки, выпадающие на поверхность дороги, плюс подземные воды	участки дороги, на которых расчетный (максимальный) уровень залегания грунтовых вод или верховодки в предморозный период выше "безопасного" уровня подземных вод (см табл. 5)

Примечание Рабочим слоем земляного полотна называется часть полотна от низа дорожной одежды на 2/3 глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия проезжей части [2]

Таблица 5

Наименование грунта по ГОСТ 25100—95	"Безопасная" глубина залегания подземных вод от низа дорожной одежды в предморозный период, м
Песок пылеватый, супесь песчанистая	$h_{пр(доп)} + 1,0$
Супесь пылеватая, суглинок легкий песчанистый, суглинок легкий пылеватый	$h_{пр(доп)} + 1,5$
Суглинок тяжелый песчанистый, суглинок тяжелый пылеватый, глины	$h_{пр(доп)} + 2,0$

Примечание Значение $h_{пр(доп)}$ нужно устанавливать по номограмме на рис. 5 при величине пучения грунтов равной нулю



наименование грунта земляного полотна;

глубина залегания подземных вод от низа дорожной одежды (H_j),

тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна (табл. 4, 5 и 6);

среднемноголетнее значение глубины промерзания грунтов в поле, очищенном от снега (для ряда пунктов они даны в приложении 1).

Для дорог, расположенных на Дальнем Востоке южнее линии порт Мago — Комсомольск-на-Амуре — Биробиджан — Облучье — Завитинск — устье реки Селемджи — Шимановск — Кумара (на Амуре), нужно дополнительно иметь данные о влажности грунтов земляного полотна на существующих дорогах в рассматриваемом районе. Эти данные нужны для

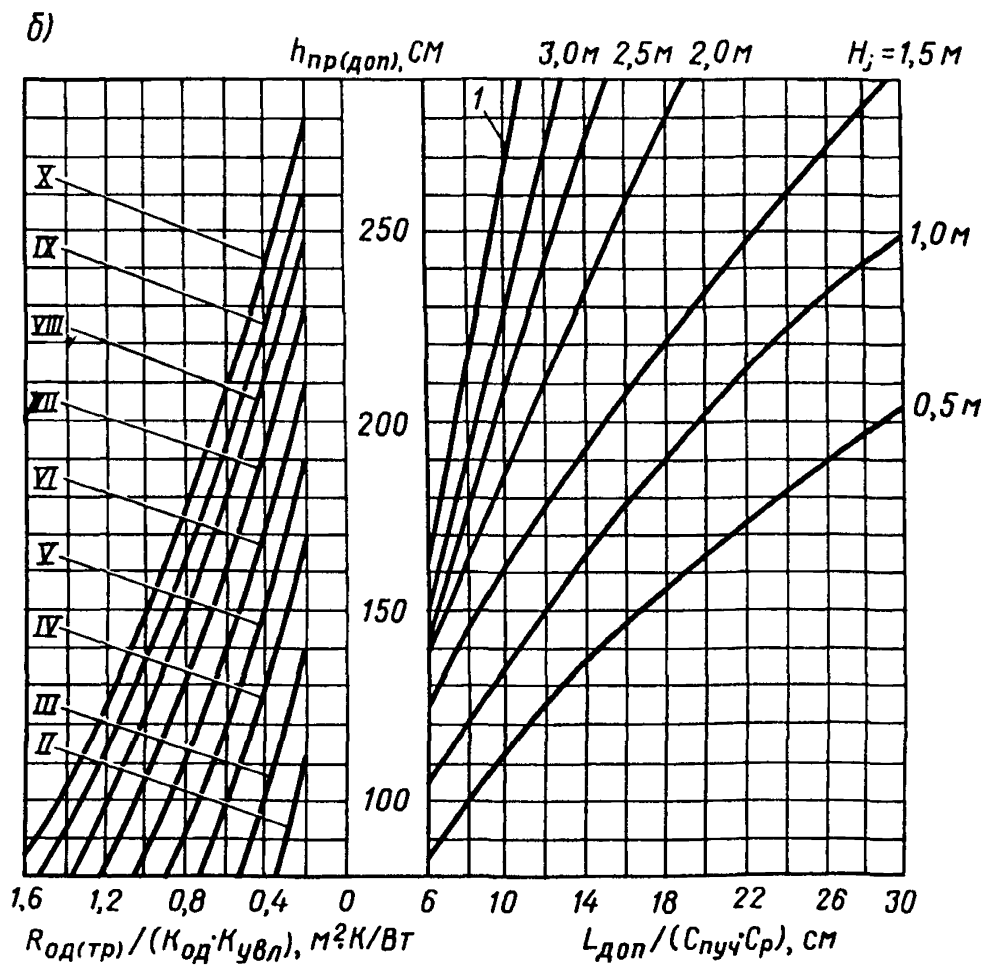


Рис 5 Номограммы для определения требуемого термического сопротивления дорожной одежды $R_{од(тр)}$ при значениях $L_{доп}$ / ($C_{пуч}$ $C_р$) от 0 до 6 см (*а*) и от 6 до 30 см (*б*)

I X — номера параметра промерзанияя (см табл 7), *1* — кривая расчета для 1-го и 2-го типов увлажнения рабочего слоя земляного полотна, $h_{пр(доп)}$ — допустимая глубина промерзания земляного полотна под дорожной одеждой при различных допустимых значениях пучения грунтов

Таблица 6

Наименование грунта по ГОСТ 25100—95	Число пластичности грунта	"Безопасное" расстояние от уреза воды на поверхности земли до подошвы насыпи, м
Супесь песчанистая, супесь пылеватая	1	10
	3	9
	5	7
	7	5
Суглинок легкий песчанистый, суглинок легкий пылеватый	7,1—12	5
Суглинок тяжелый пылеватый	12,1—17	5
Суглинок тяжелый песчанистый	12,1—17	4
Глина легкая пылеватая	17,1—27	4
Глина легкая песчанистая	17,1—27	3
Глина тяжелая	Более 27	2

Примечания. 1 Настоящая таблица действительна при условии отсутствия воды на поверхности земли в течение не менее 2/3 продолжительности теплого периода года в дорожно-климатических подзонах I_3 и II_1, не менее 1/2 — в подзоне II_2 и не менее 1/3 — в подзоне II_3

2. Указанные значения "безопасных" расстояний, при которых поверхностные воды не оказывают существенного влияния на влажность грунтов рабочего слоя земляного полотна, действительны при высоте насыпи не более 1,5 м При высоте насыпи более 1,5 м следует определять величину "безопасного" расстояния согласно Пособию к СНиП 2 05.02—85 [1].

3 При наличии на полосе обреза дороги грунтов нескольких разновидностей (в слое толщиной 3 м) в расчет следует принимать наибольшую величину "безопасного" расстояния

определения номера подзоны по табл. 2. При отсутствии таких данных допускается устанавливать номер подзоны по табл. 3.

Расчет толщины теплоизолирующего слоя ($h_п$), см, проводят в следующем порядке.

1. Вычисляют термическое сопротивление дорожной одежды без теплоизолирующего слоя, м^2·К/Вт

$$R_{од(о)} = \sum_{i=1}^{i=n_{од}} h_{од(i)} / \lambda_{од(i)}, \qquad (2)$$

где $n_{од}$ — число конструктивных слоев дорожной одежды без теплоизолирующего слоя, $h_{од(i)}$ — толщина отдельного i-го слоя, м, $\lambda_{од(i)}$ — коэффициент теплопроводности отдельного i-го слоя в мерзлом состоянии

Для песков морозозащитных и дренирующих слоев следует принимать $\lambda_{од(i)}$ равным среднеарифметическому значению коэффициентов теплопроводности материала слоя в талом и мерзлом состоянии

В расчет следует включать фактические замеренные значения $\lambda_{од(i)}$. При отсутствии таких данных допускается включать в расчет табличные значения $\lambda_{од(i)}$ [1]. Для некоторых материалов $\lambda_{од(i)}$ имеет следующие значения· 1,74 Вт/(м·К) для цементобетона; 1,40 для плотного асфальтобетона;

Таблица 7

Среднемноголетнее значение глубины промерзания грунтов $h_{пр(ср)}$, м, в поле, очищенном от снега	Номер параметра промерзания
0,60	I
0,80	II
1,00	III
1,20	IV
1,40	V
1,60	VI
1,80	VII
2,00	VIII
2,20	IX
2,40 и более	X

1,25 для пористого асфальтобетона; 1,86 для щебня из гранита; 1,39 для щебня из известняка; 2,10 для гравийно-песчаной смеси; 2,00 для песка.

2. Устанавливают по табл. 7 номер параметра промерзания.

При величине $h_{пр(ср)}$ в районе расположения дороги, отличающейся от указанных в табл. 7, нужно определять два значения параметра промерзания: одно для ближайшего значения $h_{пр(ср)}$ в таблице, большего, чем глубина промерзания в районе дороги, а другое — для ближайшего меньшего. Все последующие расчеты нужно проводить для двух значений параметра промерзания.

3. Определяют по табл. 8 значение коэффициента $K_{од}$, учитывающего срок службы дорожной одежды.

4. Устанавливают по номограмме (см. рис. 5) допустимую глубину промерзания грунта $h_{пр(доп)}$. При этом вместо $R_{од\ (тр)}$ подставляют значение $R_{од\ (о)}$, подсчитанное по формуле (2), $K_{од}$ берут из табл. 8, а коэффициент увлажнения $K_{увл}$ принимают равным 1,0 — для дорожно-климатических подзон I_3 и II_1; 0,95 — для подзоны II_2 и 0,90 — для подзоны II_3.

Таблица 8

Номер параметра промерзания (см табл 7)	Значение коэффициента $K_{од}$ при сроке службы дорожной одежды между капитальными ремонтами		
	менее 10 лет	10 лет	20 лет
I	0,70	0,85	1,0
II	0,70	0,85	1,0
III	0,80	0,90	1,0
IV	0,80	0,90	1,0
V	0,80	0,90	1,0
VI	0,80	0,90	1,0
VII	0,80	0,90	1,0
VIII	0,80	0,90	1,0
IX	0,80	0,90	1,0
X	0,80	0,90	1,0

Таблица 9

Грунт	Значение показателя $C_{пуч}$
Среднепучинистый (супесь песчанистая, суглинок легкий песчанистый, суглинок тяжелый песчанистый, глина)	1,0
Сильнопучинистый (песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок тяжелый пылеватый)	1,5
Чрезмерно пучинистый (супесь пылеватая с содержанием песчаных частиц менее 20 % массы, суглинок легкий пылеватый)	2,0

Подставляют полученную величину $h_{пр(доп)}$ в табл. 5 и определяют "безопасную" глубину залегания подземных вод.

5. Устанавливают по табл. 6 "безопасное" расстояние от уреза воды на поверхности земли до подошвы насыпи.

6. Определяют по табл. 4 тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна на основе сопоставления полученных "безопасных" величин с фактическим положением поверхностных и подземных вод

7. Определяют значение показателя пучинистого грунта $C_{пуч}$ (табл. 9).

При наличии грунтов особых разновидностей и при необходимости более точного определения показателя пучинистости следует устанавливать степень пучинистости грунта по ГОСТ 28622—90.

8. Определяют коэффициент $C_р$, учитывающий влияние веса дорожной одежды и мерзлых слоев земляного полотна на значение пучения грунта. Этот коэффициент устанавливают по табл.10 в зависимости от толщины дорожной одежды $h_{од}$ и допустимой глубины промерзания земляного по-

Таблица 10

Грунт	Значение коэффициента $C_р$ в зависимости от толщины дорожной одежды ($h_{од}$, м) и допустимой глубины промерзания земляного полотна ($h_{пр(доп)}$, см)								
	$h_{од} = 0,5$			$h_{од} = 1,0$		$h_{од} = 1,5$		$h_{од} = 2,0$	
	$h_{од(доп)}$			$h_{пр(доп)}$		$h_{пр(доп)}$		$h_{пр(доп)}$	
	0—50	51—100	> 100	0—100	> 100	0—100	> 100	0—100	> 100
Песок пылеватый	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	0,40	0,35
Супесь песчанистая	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45
Супесь пылеватая	0,75	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55	0,55	0,50
Суглинок легкий песчанистый, суглинок легкий пылеватый	0,80	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60	0,60	0,55
Суглинок тяжелый песчанистый, суглинок тяжелый пылеватый, глина	0,85	0,80	0,75	0,75	0,70	0,70	0,65	0,65	0,60

лотна $h_{пр(доп)}$. Первоначально нужно принимать значение $C_р$, соответствующее допустимой глубине промерзания земляного полотна от 0 до 50 (100) см. При толщине дорожной одежды меньше или больше значений, указанных в табл 10, следует принимать значение $C_р$ по интерполяции соответствующих величин.

9. Устанавливают по табл 11 значение коэффициента увлажнения $K_{увл}$, а по табл. 12 величину поправки (множителя) к этому значению

10. Устанавливают по номограмме (см. рис 5) требуемое термическое сопротивление дорожной одежды $R_{од(тр)}$ Для этого выполняют следующие операции:

вычисляют значение выражения $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$;

определяют по номограмме значение $h_{пр(доп)}$ в зависимости от значения выражения $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$, типа увлажнения рабочего слоя земляного полотна и глубины залегания подземных вод (H_j, м) от низа дорожной одежды;

уточняют по табл. 10 значение $C_р$ в зависимости от $h_{пр(доп)}$;

вновь вычисляют значение выражения $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$;

устанавливают по номограмме значение выражения $R_{од(тр)}/(K_{од}\ K_{увл})$ в зависимости от $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$, типа увлажнения рабочего слоя земляного полотна и глубины залегания подземных вод (H_j) от низа дорожной одежды и номера параметра промерзания (см. табл. 7);

вводят в выражение $R_{од(тр)}/(K_{од}\ K_{увл})$ значения коэффициентов $K_{од}$ и $K_{увл}$ и вычисляют искомую величину $R_{од(тр)}$.

Таблица 11

Номер параметра промерзания (см табл 7)	Значение коэффициента $K_{увл}$ при типе увлажнения рабочего слоя земляного полотна	
	1	2 и 3
I	0,85	1,0
II	0,65	1,0
III	0,55	1,0
IV	0,45	1,0
V	0,40	1,0
VI	0,35	1,0
VII	0,30	1,0
VIII	0,30	1,0
IX	0,25	1,0
X	0,25	1,0

Таблица 12

Номер дорожно-климатической зоны и подзоны на территории Восточной Сибири и Дальнего Востока	Значения поправки (множителя) к величине коэффициента увлажнения $K_{увл}$ в табл 11
I_1	1,0
II_1	1,0
II_2	0,95
II_3	0,90

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме, нужно определять два значения $R_{од(тр)}$: одно — при ближайшем значении H_j на номограмме, бóльшем, чем глубина залегания подземных вод на участке, другое — при ближайшем меньшем Искомое значение $R_{од(тр)}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

11 Устанавливают по графику (рис. 6) необходимую толщину слоя пенопласта $h_п$ в зависимости от $R_{од(о)}$ и $R_{од(тр)}$.

График следует применять при устройстве теплоизолирующего слоя из материала Styrofoam с коэффициентом теплопроводности равным 0,03 ± ± 0,002 Вт/(м·К).

При несовпадении глубины промерзания грунтов в районе дороги значению $h_{пр(ср)}$ в табл. 7 определяют два значения $h_п$ (см. с. 23). Искомую толщину теплоизолирующего слоя устанавливают методом интерполяции

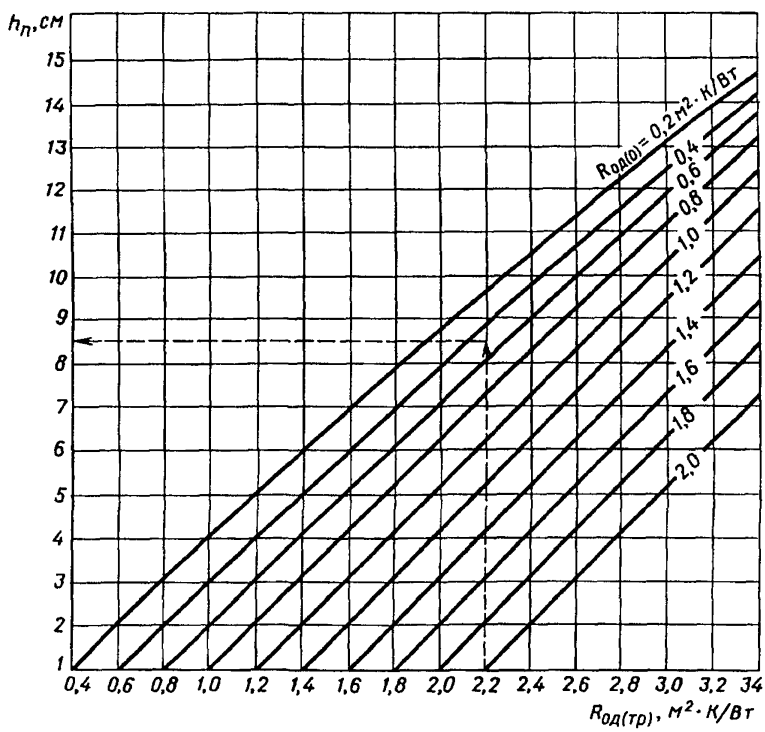


Рис 6 График для определения необходимой толщины слоя пенопласта Styrofoam
$R_{од(тр)}$ — требуемое термическое сопротивление дорожной одежды, $R_{од(о)}$ — термическое сопротивление дорожной одежды без слоя пенопласта

Таблица 13

Номер параметра промерзания (см табл 7)	Значение коэффициента $C_{пуч}$ для грунтов		
	среднепучинистых	*сильнопучинистых*	*чрезмерно пучинистых*
I	1,40	2,10	2,80
II	1,25	1,85	2,50
III	1,10	1,65	2,20
IV	1,00	1,50	2,00
V	0,90	1,35	1,80
VI	0,80	1,20	1,60
VII	0,70	1,05	1,40
VIII	0,60	0,90	1,20
IX	0,50	0,75	1,00
X	0,40	0,60	0,80

в зависимости от соотношения указанных значений глубин промерзания грунтов.

Толщину пенопласта следует увеличивать на 1 или 2 см по сравнению с величиной $h_п$, полученной по графику (см. рис. 6), соответственно при $h_{пр(ср)} > 2,4$ м и $h_{пр(ср)} > 2,8$ м.

3.5. Расчет величины пучения грунта

Для определения по формуле (1) длины переходной зоны с переменной толщиной слоя пенопласта нужно знать величину $h_{пуч(о)}$ пучения грунта на "здоровом" участке дороги. Значение этой величины устанавливают по номограмме (см. рис. 5).

По сравнению с изложенным в п. 3.4 решается обратная задача. Искомым значением является $L_{доп} = h_{пуч(о)}$ при известном значении $R_{од(тр)}$, равном термическому сопротивлению дорожной одежды на "здоровом" участке дороги. В расчет включают значение $C_{пуч}$, полученное по табл. 13.

Величину пучения грунта, полученную по номограмме (см. рис. 5), следует увеличивать на 5 или 10 % соответственно при $h_{пр(ср)} > 2,4$ м и $h_{пр(ср)} > 2,8$ м.

3.6. Расчет толщины морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом

Традиционным решением в районах сезонного промерзания грунтов является устройство дорожной одежды с морозозащитным слоем Альтернативным решением является устройство дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из пенопласта. Для оценки эффективности применения такой конструкции нужно знать толщину морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом

Сравнение конструкций с морозозащитным и теплоизолирующим слоями возможно при выполнении следующих условий. Эти конструкции должны удовлетворять нормативным требованиям по прочности, морозоустойчивости и дренированию, иметь одинаковые покрытие и основание. Разница между конструкциями заключается в том, что одна из них имеет морозозащитный слой, а другая — теплоизолирующий слой из пенопласта.

Исходя из этих условий, определяют толщину морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом, в следующем порядке.

1. Задаются толщиной морозозащитного слоя ($h_{мз}$, м) и с учетом этого размера определяют толщину дорожной одежды ($h_{од}$, м) и расстояние от ее низа до уровня подземных вод (H_j, м).

2. Устанавливают требуемое термическое сопротивление дорожной одежды. Расчет приведен в п 3.4. Разница только в значениях показателя пучинистости грунта $C_{пуч}$, которые нужно выбирать по табл. 13.

Значения показателя $C_{пуч}$ зависят от местонахождения рассматриваемого участка дороги. Это связано с влиянием глубины и скорости промерзания на пучение грунта Чем больше скорость, тем меньше поступает воды из талого грунта в мерзлый и тем меньше пучинистость грунта.

3. Определяют толщину морозозащитного слоя, м, заменяемого пенопластом:

$$h_{мз} = (R_{од(тр)} - R_{од(о)})\,\lambda_{мз}, \qquad (3)$$

где $R_{од(тр)}$ — требуемое термическое сопротивление дорожной одежды, м^2·К/Вт; $R_{од(о)}$ — термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного или теплоизолирующего слоя, м^2·К/Вт; $\lambda_{мз}$ — коэффициент теплопроводности морозозащитного слоя, равный среднеарифметическому значению коэффициентов теплопроводности материала слоя в талом и мерзлом состоянии, Вт/(м·К).

4. Сравнивают значение $h_{мз}$, полученное по формуле (3), с заданной величиной $h_{мз}$. При разнице между ними не более 5 см расчет закончен. В противном случае нужно задаться новым значением $h_{мз}$ и повторить расчет.

Толщину морозозащитного слоя, полученную по формуле (3), следует увеличить на 5 или 10 % соответственно при $h_{пр(ср)} > 2{,}4$ м и $h_{пр(ср)} > 2{,}8$ м.

4. КОНСТРУКЦИИ С ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИМИ СЛОЯМИ ИЗ ПЕНОПЛАСТА В РАЙОНАХ С ВЕЧНОМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ

Районы с вечномерзлыми грунтами находятся на территории I дорожно-климатической зоны (см. рис. 2). Эта зона включает географические зоны тундры, лесотундры и северо-восточную часть лесной зоны с распространением вечномерзлых грунтов. Зона вечной мерзлоты разделена на три подзоны. северную подзону I_1 низкотемпературных вечномерзлых грунтов

сплошного распространения, центральную подзону I_2 низкотемпературных вечномерзлых грунтов сплошного распространения и южную подзону I_3 высокотемпературных вечномерзлых грунтов островного распространения.

4.1. Принципы проектирования

В районах с вечномерзлыми грунтами устраивают дороги с теплоизолирующими слоями из пенопласта для того, чтобы обеспечить прочность и устойчивость земляного полотна. Это достигается благодаря сохранению грунтов естественного основания в твердомерзлом состоянии (1-й класс конструкций), а также этому же мероприятию в сочетании с сохранением грунтов насыпи в твердомерзлом состоянии (2-й класс конструкций).

Одним из условий обеспечения такого состояния грунтов является устройство земляного полотна зимой, когда основание насыпи промерзает на глубину более 30 см. Другим условием является устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта, который предохраняет грунты от оттаивания между капитальными ремонтами Обычно этот срок равен 30 годам.

Для сохранения грунтов в твердомерзлом состоянии в течение указанного срока нужно принимать в качестве расчетного года наиболее теплый год повторяемостью 1 раз в 30 лет. Для установления этого года нужно определить суммы положительных градусо-суток, отрицательных градусосуток и их результирующее значение для каждого года за срок не менее 30 лет. По этим данным устанавливают искомый наиболее теплый год.

Толщину слоя пенопласта, необходимую для сохранения грунтов в твердомерзлом состоянии, определяют теплотехническим расчетом, в который включают среднемесячные значения температур воздуха для наиболее теплого года, а также для среднемноголетнего года. Расчеты проводят в 2 этапа. Вначале устанавливают значения температур в дорожной конструкции для среднемноголетнего года. Затем определяют значения температур для наиболее теплого года повторяемостью 1 раз в 30 лет. В этом случае в качестве начальных температур в дорожной конструкции принимают данные, полученные для среднемноголетнего года. При расчете температуры в конструкции нужно учитывать температуры грунта естественного основания на глубине не менее 10 м от поверхности земли в подзоне I_1, не менее 15 м в подзоне I_2 и не менее 20 м в дорожно-климатической подзоне I_3.

Для определения температуры поверхности покрытия проезжей части и обочин, поверхности откосов и полосы отвода в расчет включают данные о солнечной радиации, скорости ветра и сезонных изменениях высоты и плотности снежного покрова.

4.2. Типы конструкций

Проектирование дороги проводят с учетом представленных на рис. 7 основных типов дорожных конструкций. Выбор конструкции проводят в зависимости от высоты насыпи и условий уплотнения грунта. Третий тип конструкции применяют при высоте насыпи (по оси проезжей части), равной толщине дорожной одежды. При большей высоте насыпи, но не более 2 м, применяют 1-й и 2-й типы конструкций. На участках дорог, проходящих в нулевых отметках, применяют 4-й тип конструкций.

Конструкцию 1-го типа следует применять при уплотнении песка, из которого устраивают насыпь, до значения не менее 0,95 от максимальной плотности по ГОСТ 22733—90. В конструкции 2-го типа плотность песка не нормируется, так как он находится в твердомерзлом состоянии в течение

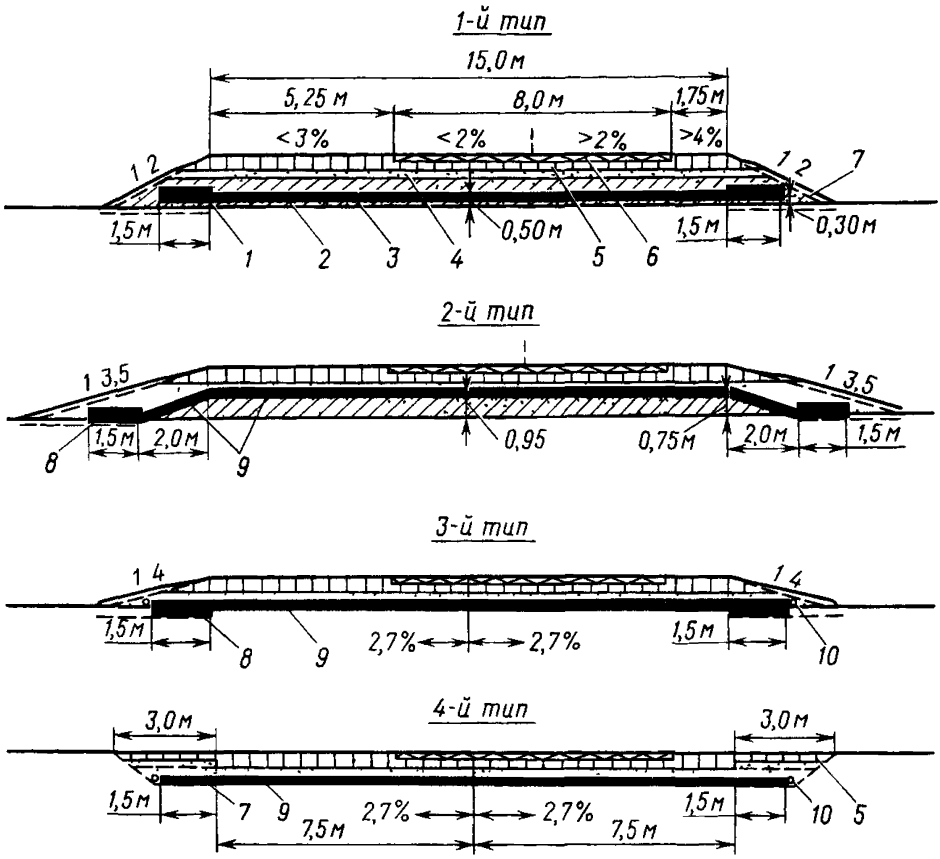


Рис 7 Конструкции дорожной одежды и земляного полотна с теплоизолирующими слоями из пенопласта Styrofoam марки Floormate 500

1 — пенопласт толщиной 8 см, *2* — пенопласт толщиной 6 см, *3* — пылеватый песок, *4* — песок с коэффициентом фильтрации не менее 1 м/сут, *5* — пескоцементная смесь, *6* — железобетонная плита, *7* — геотекстиль, *8* — пенопласт толщиной 14 см, *9* — пенопласт толщиной 13 см, *10* — трубчатая дрена

всего периода эксплуатации дороги. Его плотность в насыпи должна быть равна максимальной плотности, которую можно достигнуть при уплотнении песка в зимний период.

На рис. 7 приведены размеры конструкции для одного из случаев строительства дороги в дорожно-климатической подзоне I_1. Такие конструкции можно применять и в подзонах I_2 и I_3 с вечномерзлыми грунтами. Разница будет только в толщине слоя пенопласта.

На проезжей части указанной дороги предусматривается устройство покрытия из железобетонных плит толщиной 0,14 м на основании из пескоцементной смеси (10 % цемента) толщиной 0,25 м. Обочины укреплены той же пескоцементной смесью. Для обеспечения устойчивости откосов насыпи предусмотрены защитные прослойки из геотекстиля с укладкой на поверхность откосов мохорастительного слоя. Высота насыпи по бровке земляного полотна в конструкциях 1-го и 2-го типов составляет 1,5 м. Указанные на рис. 7 значения уклонов насыпи являются максимально допустимыми. Делать круче откосы нельзя, положе — можно.

При сооружении земляного полотна подготовительные работы (уборку снега, рубку и удаление леса и т. п.) следует проводить зимой с небольшим опережением основных земляных работ. Нижние слои насыпи следует отсыпать способом "от себя", а последующие — продольным способом.

Для устройства теплоизолирующего слоя нужно применять плиты со ступенчатой формой кромки. Принимая во внимание возможность подтопления в теплый период года мерзлой части насыпи в конструкции 2-го типа необходимо, чтобы вода не поступала через стыки между плитами в этот грунт. Для этого нужно, чтобы кромки плит пенопласта имели форму паз/выступ. Допускается применять плиты пенопласта со ступенчатой формой кромки с изоляцией стыков между плитами.

Плиты пенопласта следует укладывать с обеспечением равномерного их опирания на поверхность песчаного слоя. Чтобы не создавать сквозных швов, плиты пенопласта надо укладывать "вразбежку". Если плиты укладывают в два слоя, то швы нижележащего слоя нужно перекрывать вышележащими плитами. Плиты необходимо при укладке прикреплять к основанию штырями.

В летний период работу проводят в такой последовательности: доуплотняют песок дренирующего слоя, укладывают и уплотняют слой пескоцементной смеси, укладывают железобетонные плиты (см. рис. 7). Работы, выполняемые в теплый период времени, должны быть закончены за 2—3 мес. с момента перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 °С. В противном случае может произойти оттаивание грунтов, которые должны находиться в мерзлом состоянии.

4.3. Расчет толщины слоя пенопласта

Программа для расчета на ЭВМ процессов тепло- и массообмена в дорожной конструкции должна учитывать сложное очертание расчетной области, наличие в пределах этой области различных видов грунтов и материалов, значительное число граничных условий в пределах расчетной области, фазовые переходы (выделение и поглощение скрытой теплоты в процессе промерзания-оттаивания), теплофизические свойства грунтов и материалов.

Грунтово-мерзлотные условия на трассе дороги должны характеризоваться следующими показателями: суммарной влажностью грунта, плотностью талого и мерзлого грунта, коэффициентом теплопроводности и объемной теплоемкостью талого и мерзлого грунтов, температурой льдообразования.

В расчет включают теплофизические характеристики слоев дорожной одежды, полученные по данным натурных измерений на существующих дорогах в рассматриваемом регионе. При отсутствии таких данных допускается включать в расчет табличные значения.

Необходимую толщину пенопласта определяют методом подбора, исходя из условия сохранения в твердомерзлом состоянии грунтов в конструкциях 1-го и 2-го класса в течение всего периода между капитальными ремонтами земляного полотна.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

СРЕДНЕМНОГОЛЕТНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ГЛУБИН ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ

Для определения номера параметра промерзания нужно знать среднемноголетнее значение глубины промерзания грунтов в поле, очищенном от снега Указанные значения глубин промерзания можно принимать по табл П 1, составленной отделом агрометпрогнозов Гидрометцентра России

Таблица П 1

Территория	Среднемноголетняя максимальная за зиму глубина промерзания почвы, см	Координаты	
		Широта	Долгота
Красноярский край			
Енисейск	120	58°28′	92°06′
Казачинское оп /ст	117	57°41′	93°17′
Б. Мурта	203	56°54′	93°08′
Ачинск	191	56°17′	90°31′
Солянка	205	56°10′	95°16′
Республика Хакасия			
Хакасская	275	53°03′	90°55′
Таштып	235	52°43′	89°53′
Республика Тыва			
Чадан	254	51°17′	91°35′
Иркутская область			
Тайшет	185	55°57′	98°00′
Тулун	212	54°36′	100°38′
Усть-Уда	239	54°25′	103°15′
Балаганск	277	53°43′	103°20′
Баяндай	185	53°06′	105°32′
Иркутск	207	52°16′	104°21′
Республика Бурятия			
Кабанск	136	52°03′	106°39′
Мухоршибирь	210	51°02′	107°49′
Читинская область			
Зюльзя	190	52°33′	116°12′
Шелопугино	280	51°39′	117°34′
Сретенск	300	52°14′	117°42′
Ачинское	150	51°06′	114°31′
Красный Чикой	220	50°22′	108°45′

Окончание табл. П 1

Территория	Среднемноголетняя максимальная за зиму глубина промерзания почвы, см	Координаты	
		Широта	Долгота
Амурская область			
Пикан	300	53°42′	127°18′
Шимановская	180	51°59′	127°39′
Мазаново	255	53°38′	128°49′
Братолюбовка	263	50°47′	129°20′
Поярково	249	49°37′	128°39′
Хабаровский край			
Комсомольск-на-Амуре	230	50°32′	137°02′
Хабаровск	196	48°31′	135°07′
Лермонтовка	189	47°09′	134°20′
Биробиджанская оп /ст.	198	48°45′	132°55′
Екатерино-Никольское	285	47°44′	130°58′
Приморский край			
Турий Рог	196	45°13′	131°59′
Свиягино	135	44°48′	133°05′
Хорольск	161	44°26′	132°04′
Приморская	193	43°38′	132°14′

Влияние снежного покрова на значения средних из максимальных глубин промерзания незначительно (до 10 %)

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕНОПЛАСТА

Для устройства теплоизолирующих слоев на дорогах применяют пенопласт Styrofoam марки FLOORMATE 500 Данные о физико-механических свойствах этой марки пенопласта представлены в табл П 2

Лист пенопласта имеет длину 1250 мм, ширину 600 мм, толщину 30, 40, 50, 60, 80, 100 мм Форма кромки — ступенчатая и прямая

Пенопласт не поддается воздействию карбоната натрия, гидроокиси кальция, натрия хлорида (поваренная соль), органических веществ (гумус, сапропель), бактерий природного происхождения При наличии в грунте кислот, щелочей, органических удобрений и других веществ, не перечисленных выше, следует оценивать устойчивость пенопласта в каждом конкретном случае по составу и концентрации этих веществ

Пенопласт следует предохранять от воздействия нефтяных продуктов (бензин, керосин и др), органических растворителей (бензол, ацетон и др) Не допускается укладка непосредственно на пенопласт "горячего песка" и других нагретых материалов, обработанных органическими вяжущими материалами.

При длительном хранении (более 5 сут) под открытым небом плиты пенопласта следует предохранять от прямого солнечного воздействия Не допускается складирование пенопласта вблизи открытого огня

Таблица П 2

Показатель	Нормативный документ, регламентирующий метод определения показателя	Единица измерения	Значение показателя
Плотность исходная	DIN 53420 / ГОСТ 15588—86	кг/м³	38/40
Теплопроводность при температуре 10 °С	DIN 52612 / ГОСТ 7076—87	Вт/(м К)	0,027/0,025
Теплопроводность при температуре 20 °С	ГОСТ 7076—87	Вт/(м К)	0,028
Водопоглощение (по объему)	DIN 53434 / ГОСТ 15588—86	%	0,20/0,45
Прочность на сжатие при 10 %-ной деформации	DIN 53421 / ГОСТ 17177—87	МПа	0,50
Предел прочности при изгибе	ГОСТ 17177—87	МПа	0,72
Модуль упругости	DIN 53421	МПа	20
Капиллярность	—	—	0
Огнестойкость — группа горючести	DIN 4102 / ГОСТ 30244—94	—	В1 (трудновоспламеняем)/Г3
Диапазон рабочих температур	—	°С	От минус 50 до плюс 75

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1 Определить необходимую толщину теплоизолирующего слоя из пенопласта на участке дороги, проходящей в районе западных отрогов хребта Сихотэ-Алинь Дорожно-климатическая подзона II_2

На этом участке среднемноголетняя глубина промерзания грунтов в поле, очищенном от снега, составляет 1,4 м Подземные воды (верховодка) залегают на глубине 0,5 м от поверхности земли Грунт естественного основания — суглинок легкий пылеватый, который относится к чрезмерно пучинистым грунтам Из этого же грунта возводится земляное полотно Высота насыпи 1,65 м

По условиям обеспечения прочности и дренирования нужно устраивать конструкцию дорожной одежды, состоящую из асфальтобетонного покрытия толщиной 0,20 м (плотный асфальтобетон — 0,05 м, пористый асфальтобетон — 0,15 м), основания толщиной 0,30 м из известнякового щебня и дренирующего слоя толщиной 0,20 м из среднезернистого песка Срок службы дорожной одежды (период между капитальными ремонтами) — 10 лет Допустимая величина пучения 4 см

Расчет толщины слоя пенопласта проводят согласно п 3 4 По формуле (2) $R_{од(0)}$ = =0,05/1,4 + 0,15/1,25 + 0,3/1,39 + 0,2/2,00 = 0,47 м^2 К/Вт. По табл 7 номер параметра промерзания — V По табл 8 $K_{од}$ = 0,90 Устанавливают по табл 5 "безопасную" глубину залегания подземных вод, для чего предварительно определяют по номограмме (см рис 5) допустимую глубину промерзания при $L_{доп}$ = 0 При $R_{од(0)} / (K_{од}K_{увл})$ = 0,54 м^2 К/Вт $h_{пр(доп)}$ = =1,3 м При этой глубине промерзания "безопасная" глубина залегания подземных вод составляет по табл 5 2,8 м от низа дорожной одежды На рассматриваемом участке дороги верховодка залегает на глубине 1,65 – 0, 7 + 0,5 = 1,45 м от низа дорожной одежды, что выше "безопасной" глубины залегания подземных вод При этих условиях принимают в расчет 3-й тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна По табл 9 $C_{пуч}$ = 2,0 По табл 10 — $C_р$ = 0,76 для суглинка легкого пылеватого при $h_{од}$ = 0,7 м и $h_{пр(доп)}$ = 0 — 50 см По номограмме (см рис 5) $h_{пр(доп)}$ = 72 см при $L_{доп}/(C_{пуч}\,C_р)$ = 2,6 и H_j = 1,45 м По табл 10 $C_р$ = 0,73 при $h_{од}$ = 0,7 м и $h_{пр(доп)}$ = 72 см По номограмме (см рис 5) $R_{од(тр)}$ = 0,81 м^2 К/Вт при $L_{доп}$/ /$(C_{пуч}\,C_р)$ = 2,7, H_j = 1,45 м, $K_{од}$ = 0,90, $K_{увл}$ = 0,95

По графику (см рис 6) определяют искомую толщину слоя пенопласта $h_п$ = 1,8 см при $R_{од(0)}$ = 0,47 м^2 К/Вт и $R_{од(тр)}$ = 0,81 м^2 К/Вт Учитывая минимальные размеры плиты (см прилож 2), принимается толщина слоя пенопласта 3 см

Пример 2. Определить толщину морозозащитного слоя из песка, заменяемого пенопластом, для указанной дороги в районе Сихотэ-Алинь

Расчет проводят согласно п 3 6 Исходные данные те же, что и ранее. Задаются величиной $h_{мз}$ = 0,95 м В этом случае $h_{од}$ = 1,65 м и H_j = 0,5 м По табл. 10 $C_р$ = 0,64 при $h_{од}$ = =1,65 м и $h_{пр(доп)}$ = 0 — 100 см По табл 8, 11, 12 $K_{од}$ = 0,90 и $K_{увл}$ = 0,95. По табл 13 $C_{пуч}$ = =1,80 По номограмме (см рис 5) $h_{пр(доп)}$ = 62 см при $L_{доп}/(C_{пуч}\,C_р)$ = 3,5 см и H_j = 0,5 м По табл 10 $C_р$ = 0,64 при $h_{од}$ = 1,65 м и $h_{пр(доп)}$ = 62 см По номограмме (см. рис. 5) $R_{од(тр)}$ = =0,92 м^2 К/Вт при $L_{доп}/(C_{пуч}\,C_р)$ = 3,5, H_j = 0,5; $K_{од}$ = 0,90, $K_{увл}$ = 0,95. По формуле (3) $h_{мз}$ = =0,92 м Расчет закончен, так как разница между заданным и полученным значениями $h_{мз}$ составляет 3 см, т е менее 5 см Получаем, что толщина морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом, составляет 0,95 м

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пособие по проектированию методов регулирования водно-теплового режима верхней части земляного полотна (к СНиП 2 05 02-85) / Под ред В И Рувинского М Стройиздат, 1989. 97 с

2 Строительные нормы и правила 2.05 02-85 Автомобильные дороги М ЦИТП Госстроя, 1986 56 с

3 *Типовые решения по восстановлению несущей способности земляного полотна и* обеспечению прочности и морозоустойчивости дорожной одежды на пучинистых участках автомобильных дорог М ГП "Информавтодор", 2000. 101 с.

4 Рувинский В И Оптимальные конструкции земляного полотна 2-е изд , перераб и доп. М.: Транспорт, 1992 240 с.

5. Рувинский В И Эффективность применения пенопласта Styrofoam в дорожном строительстве России М Транспорт, 1996. 72 с.

6. Рувинский В.И Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта Styrofoam на автомобильных дорогах России М · Транспорт, 2000 71 с

7 Рувинский В И Автомобильные дороги Десять вопросов и ответов. М Союздорнии, 2001. 39 с

8. Ярмолинский А И Автомобильные дороги Дальнего Востока М Транспорт, 1994 140 с

Производственно-практическое издание

РУВИНСКИЙ ВЛАДЛЕН ИЗОТОВИЧ

ПОСОБИЕ ПО УСТРОЙСТВУ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩИХ СЛОЕВ ИЗ МАТЕРИАЛА STYROFOAM НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Корректор *В. А. Агеева*
Компьютерная верстка *С. И. Шаровой, И А. Мочаловой*

Изд лиц. 010163 от 21.02.97. Сдано в набор 18.04.01 Подписано в печать 07.06 01
Формат 60x88 $^{1}/_{16}$ Бумага офсетная. Гарнитура Times Офсетная печать
Усл печ л 2,45 Уч.-изд. л. 2,28. Тираж 3000 экз. Заказ 231 Заказное С 041
Изд. № 3-3-1/5 № 7066
Государственное унитарное предприятие
ордена "Знак Почета" издательство "ТРАНСПОРТ",
107078, Москва, Новая Басманная ул , д 10

АООТ "Политех-4"
129110, Москва, Б Переяславская ул , 46



Владлен Изотович Рувинский —
доктор технических наук, почетный строитель России, работает в СоюздорНИИ главным научным сотрудником. Ведущий специалист России в области обеспечения морозоустойчивости дорожной одежды. Автор физико-технической теории водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог.

В.И.Рувинский впервые решил задачу по обеспечению морозоустойчивости дорожной одежды на автомобильных дорогах Восточной Сибири и Дальнего Востока с использованием теплоизолирующих слоев из пенопласта.

ISBN 5-277-02252-X

gost.e-ecolog.ru

9 785277 022528