В. И. РУВИНСКИЙ

Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта STYROFOAM на автомобильных дорогах России

V. I. RUVINSKY

Manual for construction of STYROFOAM heat-insulating layers on roads in Russia

gost.e-ecolog.ru

ТРАНСПОРТ · TRANSPORT

В. И. РУВИНСКИЙ

Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта STYROFOAM на автомобильных дорогах России

V. I. RUVINSKY

Manual for construction of STYROFOAM heat-insulating layers on roads in Russia

МОСКВА • ТРАНСПОРТ • 2000

MOSCOW • TRANSPORT • 2000

УДК 625.731
ББК 39.311
Р 82

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

В Пособии указаны задачи, которые можно решать с помощью пенопласта Styrofoam производства фирмы Дау Кемикал Компани. По сравнению с традиционными решениями дорожной конструкции применение пенопласта позволяет: снизить толщину морозозащитного слоя, уменьшить высоту насыпи и глубину выемки, использовать грунты повышенной влажности, 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. 13, табл. 6, библиогр. 6 назв.

ISBN 5-277-02144-2

© В. И. Рувинский, 2000

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Задачи, решаемые с помощью пенопласта 5

1.1. Снижение толщины морозозащитного слоя 5
1.2. Уменьшение высоты насыпи 6
1.3. Уменьшение глубины выемки 8
1.4. Использование грунтов повышенной влажности 9
1.5. Повышение долговечности и ровности покрытия 10
1.6. Решения, возможные только с пенопластом 11

2. Определение нужной марки пенопласта 13

2.1. Условия работы пенопласта в конструкции 13
2.2. Испытания на дорогах 14

3. Конструкции в районах с сезонным промерзанием 15

3.1. Принципы проектирования 15
3.2. Конструкции при новом строительстве 16
3.3. Конструкции при ремонте и реконструкции 18
3.4. Расчет толщины слоя пенопласта 20
3.5. Расчет величины пучения грунта 26

4. Конструкции в районах с вечномерзлыми грунтами 26

4.1. Принципы проектирования 26
4.2. Типы конструкций 27
4.3. Расчет толщины слоя пенопласта 29

5. Расчет толщины морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом 30

Приложение 1. Техническая характеристика пенопласта 32
Приложение 2. Примеры расчета 34
Список литературы 35

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее Пособие разработано в развитие требований СНиП по устройству теплоизолирующих слоев [1]. Пособие 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. Решение этих задач предлагается осуществлять с помощью теплоизолирующих слоев из пенопласта.

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, включая 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 [4].

В России разработаны соответствующие нормативно-технические документы [1—6], позволяющие проводить строительство автомобильных дорог с теплоизолирующими слоями из пенопласта Styrofoam. Этот 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.

Настоящее Пособие можно использовать не только при строительстве автомобильных дорог в России, но и в странах СНГ и в государствах Прибалтики.

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 [2]. Для обеспечения этого требования устраивают морозозащитные слои из кондиционных песков, песчано-гравийной смеси, гравия, укрепленных грунтов и из других непучинистых материалов. На участках с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями толщина морозозащитного слоя может достигать 1 м и более. На таких участках трудно обеспечить необходимое количество кондиционных грунтов и материалов для устройства морозозащитных слоев. Во многих районах таких грунтов и материалов нет. Дальность перевозки кондиционных песков составляет десятки и сотни километров.

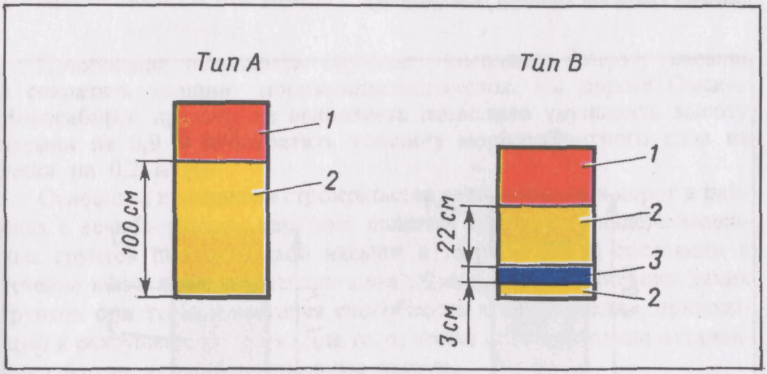


Рис. 1. Конструкции дорожной одежды равноценные по морозоустойчивости в условиях Москвы:
1 — покрытие и основания дорожной одежды; *2* — песок; *3* — пенопласт Styrofoam

Устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта позволяет резко уменьшить толщину или полностью исключить морозозащитный слой. На рис. 1 представлены конструкции дорожной одежды с морозозащитным слоем из песка (тип А) и с теплоизолирующим слоем из пенопласта (тип В), которые удовлетворяют требованиям по прочности и морозоустойчивости в условиях Москвы [5].

2 Зак. 996

1.2. 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 [1]. Толщина рабочего слоя принимается равной 2/3 глубины промерзания, но не менее 1,5 м от поверхности покрытия.

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.

На рис. 2 представлены минимальные значения высот насыпи, которые нужно устраивать в Архангельской области на участках с грунтовыми водами на уровне поверхности земли. В случае устройства традиционной дорожной одежды высота насыпи из мелкого песка или супеси песчанистой должна быть не менее 2,0 м (тип А). В случае устройства конструкции с теплоизолирующим слоем, предотвращающим промерзание грунтов ниже поверхности земли, высота насыпи должна быть не менее 1,5 м (тип В).

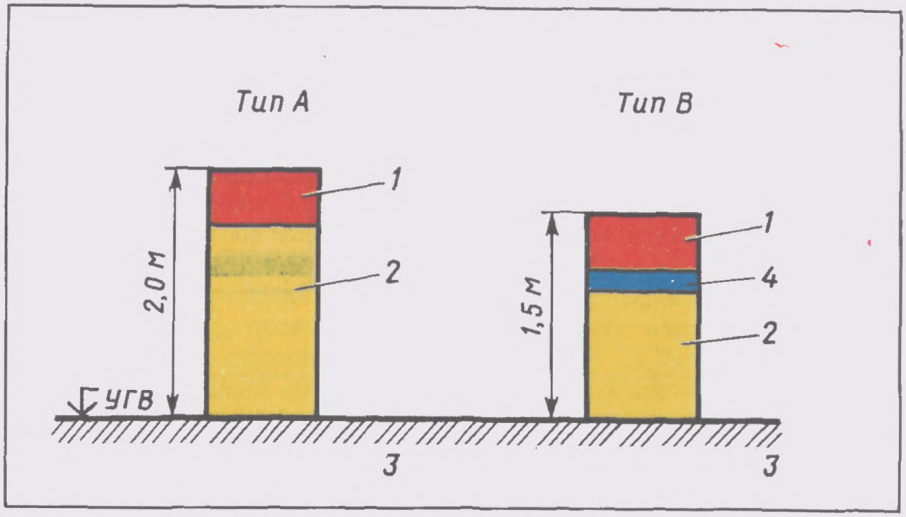


Рис. 2. Минимальные значения высот насыпи в Архангельской области при устройстве традиционной конструкции дорожной одежды (тип А) и конструкции с пенопластом, предотвращающим промерзание грунтов ниже поверхности земли (тип В):
1 — дорожная одежда; *2* — песок мелкий или супесь песчанистая; *3* — супеси и суглинки пылеватые; *4* — пенопласт Styrofoam

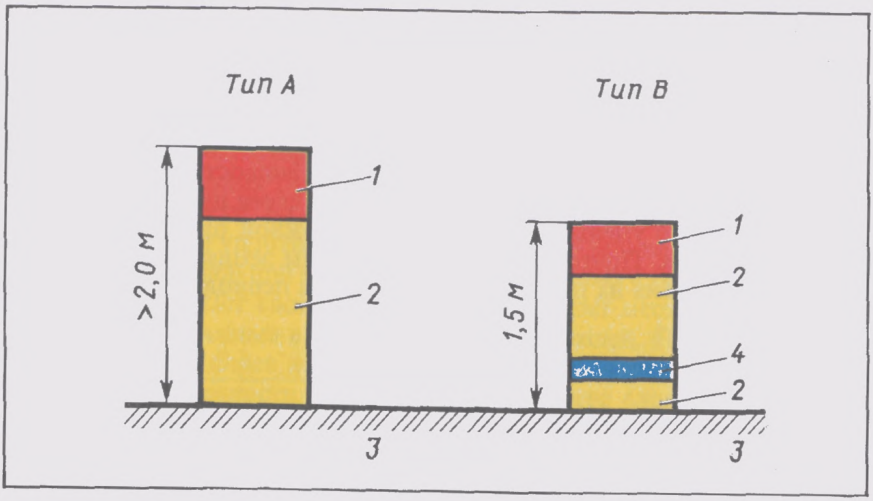


Рис. 3. Минимальные значения высот насыпи на полуострове Ямал при устройстве традиционной конструкции земляного полотна (тип А) и конструкции с пенопластом, предотвращающим оттаивание грунтов ниже поверхности земли (тип В):
1 — дорожная одежда; *2* — песок мелкий; *3* — льдонасыщенный грунт; *4* — пенопласт Styrofoam

Применение пенопласта позволяет уменьшить высоту насыпи и сократить толщину морозозащитного слоя. На дороге Омск—Новосибирск применение пенопласта позволило уменьшить высоту насыпи на 0,9 м и сократить толщину морозозащитного слоя из песка на 0,3 м [4].

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. На рис. 3 представлены минимальные значения высот насыпи, которые нужно устраивать на полуострове Ямал при сроке службы дороги 30 лет [6]. В случае устройства традиционных конструкций земляного полотна из мелкого песка высота насыпи должна быть более 2,0 м (тип А). В случае устройства земляного полотна с теплоизолирующими слоями из пенопласта высота насыпи должна быть 1,5 м (тип В), исходя из условия снегонезаносимости дороги.

1.3. Уменьшение глубины выемки

При неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях в районах с сезонным промерзанием устраивают в выемках толстые морозозащитные слои (тип А). Ту же морозоустойчивость можно обеспечить устройством тонких теплоизолирующих слоев из пенопласта (тип В). В результате уменьшения толщины дорожной одежды снижается глубина выемки. Поэтому уменьшается объем земляных работ и облегчаются условия их проведения, особенно в период выпадения дождей.

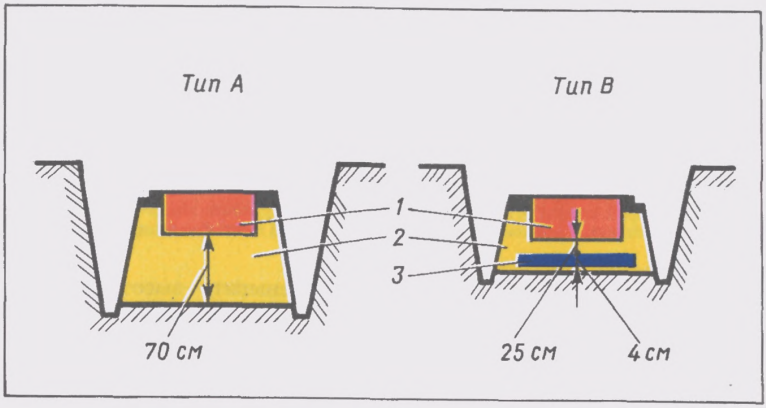


Рис. 4. Конструкции земляного полотна в выемках на дороге Омск—Новосибирск при устройстве традиционной дорожной одежды (тип А) и дорожной одежды с пенопластом (тип В):
1 — покрытие и основание дорожной одежды; *2* — песок средней крупности; *3* — пенопласт Styrofoam

На рис. 4 представлены конструкции земляного полотна в выемках на дороге Омск—Новосибирск от проектного км 38 + 500 до км 76 + 515. Дорога запроектирована по нормативам I технической категории. В конструкциях типа А и В дорожная одежда удовлетворяет требованиям по прочности и морозоустойчивости.

Необходимое количество пенопласта составляет 840 м^3 на 1 км дороги. Благодаря устройству теплоизолирующего слоя сокращается количество кондиционного песка (не пучинистого с коэффициентом фильтрации более 2 м/сут) на 11920 м^3 на 1 км дороги и уменьшается объем земляных работ на 24400 м^3 — 35400 м^3 в зависимости от глубины выемки на 1 км дороги.

1.4. Использование грунтов повышенной влажности

При возведении земляного полотна нужно уплотнять грунты рабочего слоя до требуемой плотности [1]. При устройстве дорожной одежды с асфальтобетонным или цементобетонным покрытием плотность грунта должна быть не ниже соответственно 0,98 и 1,0 максимальной плотности по методу стандартного уплотнения по ГОСТ 22733—90. Такое уплотнение возможно только при влажности грунта близкой к оптимальной ($W_{опт}$). Обеспечить стройку грунтами с такой влажностью бывает сложно. Особенно это имеет место весной после таяния снега и осенью в период выпадения дождей. Применение теплоизолирующих слоев из пенопласта позволяет использовать грунты повышенной влажности для устройства рабочего слоя земляного полотна при выполнении трех условий. Во-первых, тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна должен быть 1-м или 2-м [1], во-вторых, грунт надо уплотнять до плотности не ниже 0,95 от максимальной, в-третьих, толщина пенопласта должна быть такой, чтобы не происходило промерзание грунтов под дорожной одеждой. При таких условиях не происходит морозное пучение грунта, а происходит только его усадка в летний период. В результате этого грунт доуплотняется до максимальной плотности и даже более [4].

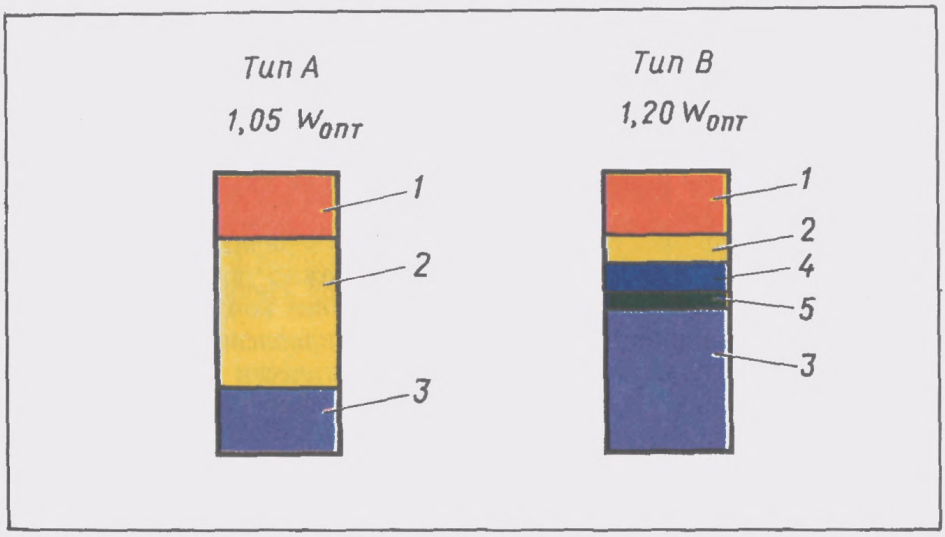


Рис. 5. Допустимые значения влажности тяжелого пылеватого суглинка, при которых можно уплотнить грунт до нормативных величин при устройстве традиционной дорожной конструкции (тип А) и конструкции с пенопластом (тип В):
1 — покрытие и основание дорожной одежды; *2* — песок; *3* — тяжелый пылеватый суглинок; *4* — пенопласт Styrofoam; *5* — геотекстиль

На рис. 5 указаны максимальные значения влажности тяжелого пылеватого суглинка, при которых можно применять этот грунт для устройства рабочего слоя земляного полотна в случае традиционного решения дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием (тип А) и в случае включения в конструкцию теплоизолирующего слоя из пенопласта (тип В).

1.5. Повышение долговечности и ровности покрытия

Во время эксплуатации дороги в районах с сезонным промерзанием происходит круглогодичный процесс изменения плотности и влажности пучинистых грунтов. Этот процесс состоит из четырех основных периодов: набухание осенью, пучение зимой, осадка грунта при оттаивании весной и усадка при высыхании летом. Круглогодичные изменения плотности и влажности повторяются в течение всего срока службы сооружения. При этом в результате осадки и усадки грунтов в весенне-летний период может происходить или не происходить восстановление их начальной плотности, достигнутой при строительстве дороги. В последнем случае имеет место разуплотнение грунтов при многократном пучении в течение целого ряда лет, пока их плотность в летний период не станет равной "бытовой плотности" [3].

Указанные процессы поднятия и опускания дорожной одежды происходят неравномерно по площади проезжей части. Особенно это имеет место весной, когда под действием транспорта усиливается неравномерность осадки разуплотненного и водонасыщенного грунта. При этом, чем больше размер пучения грунта, тем более неравномерно происходит поднятие и опускание проезжей части. Такое ежегодное воздействие на дорожную одежду влияет на ее долговечность и ровность покрытия.

Устранить морозное пучение — это значит увеличить долговечность и ровность покрытия. Теоретически этого можно добиться заменой пучинистых грунтов на всю глубину промерзания кондиционным песком, песчано-гравийной смесью, гравием, укрепленным грунтом и другими непучинистыми материалами. Практически сделать это невозможно в районах, где глубина промерзания достигает 3,0 м и более.

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. Только благодаря этому фактору долговечность покрытия увеличивается пример-

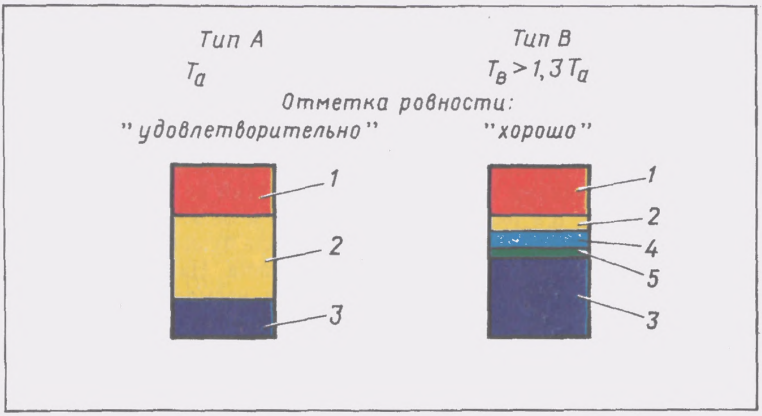


Рис. 6. Показатели долговечности и ровности покрытия при устройстве традиционной конструкции дорожной одежды (тип А) и дорожной одежды с пенопластом (тип В):
1 — покрытие и основание дорожной одежды; *2* — песок; *3* — грунт; *4* — пенопласт Styrofoam; *5* — геотекстиль

но на 30 % по сравнению с традиционным решением дорожной конструкции. Продолжительность срока 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.

На рис. 6 приведены данные о соотношении между сроками службы покрытия (Т, лет) при традиционном решении дорожной одежды (тип А) и устройстве конструкции с пенопластом, предотвращающим промерзание грунтов рабочего слоя земляного полотна (тип В). Приведены данные о ровности покрытия на дороге Омск—Новосибирск. Замеры проводились после 12 лет эксплуатации дороги [4].

1.6. Решения, возможные только с пенопластом

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

В условиях России пучины серьезно осложняют эксплуатацию дорог. На отдельных участках дороги их протяженность достигает 30 % и более. По данным ИркутскгипродорНИИ (1998 г.) на участке дороги Тюмень—Омск от км 248 до км 297 имеются 7 пучинистых мест общей протяженностью 6,5 км. На участке дороги "Байкал" граница Красноярского края — Иркутск, от км 1689 до км 1712 имеются 10 пучинистых мест общей протяженностью 6,8 км.

Борьба с пучинами традиционными методами во многих случаях малоэффективна, а в ряде случаев просто невозможна. Единственно возможным решением, позволяющим устранить пучину, является устройство теплоизолирующего слоя из пенопласта. На рис. 7 показан один из таких случаев. Дорога проходит в насыпи высотой 1 м. Местность равнинная, поверхностный сток не обеспечен. Под насыпью залегает супесь пылеватая. Имеются подземные воды (верховодка), уровень которых совпадает с поверхностью земли. Глубина промерзания в открытом поле более 1,5 м. На дороге имеются пучины.

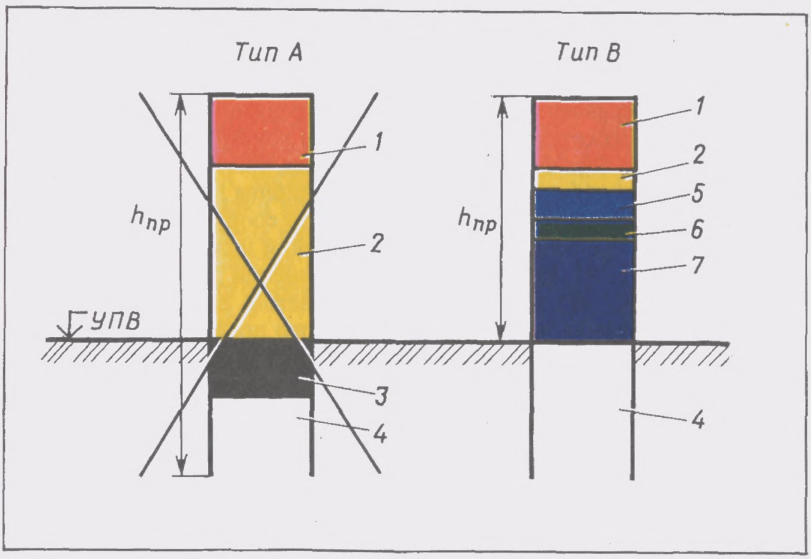


Рис. 7. Конструкции дорожной одежды с морозозащитным слоем (тип А) и с теплоизолирующим слоем из пенопласта (тип В), которые рассматривались при решении задачи по устранению пучины на дороге:
1 — покрытие и основание дорожной одежды; *2* — песок; *3* — гравий; *4* — супесь пылеватая; *5* — пенопласт Styrofoam; *6* — геотекстиль; *7* — грунт существующей насыпи; $h_{пр}$ — глубина промерзания

Реконструкция пучинистого участка предусматривает устройство дорожной одежды толщиной 0,5 м. В случае устройства дополнительного морозозащитного слоя его толщина должна быть более 0,5 м (тип А). При таких условиях низ дорожной одежды располагается ниже поверхности земли в зоне верховодки.

Для обеспечения требуемой долговечности конструкции нужно отводить воду из слоев дорожной одежды и верхних слоев земляного полотна, что нельзя выполнить. Невозможно отвести воду в равнинной местности, когда часть морозозащитного слоя находится ниже уровня подземных вод. Поэтому в указанных условиях нельзя устраивать морозозащитный слой для устранения пучин. Еще больше противопоказаний имеет морозозащитный слой из зернистых материалов. Ниже поверхности земли он заполнен водой, в результате чего снижается несущая способность зернистого материала. Морозозащитный слой, заполненный водой, не устраняет пучение, так как в нем происходит льдообразование.

Конструкция с теплоизолирующим слоем из пенопласта (тип В) не имеет указанных недостатков и позволяет устранить пучины на дорогах.

В районах с вечномерзлыми грунтами могут быть также случаи, когда нельзя обойтись без пенопласта. Одним из таких случаев является вынужденное устройство земляного полотна в низкой насыпи из-за рельефа местности [6]. 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.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НУЖНОЙ МАРКИ ПЕНОПЛАСТА

2.1. Условия работы пенопласта в конструкции

Пенопласт в конструкции подвергается воздействию силовых и природных факторов. Действие повторных 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.

Основной механизм разрушения пенопласта — это усталость материала. **Главный критерий назначения необходимой марки пенопласта — это результаты натурных наблюдений.**

2.2. Испытания на дорогах

По указанию Минтрансстроя в 1983—1995 годах 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 [4]. 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.

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 (см. ниже). 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 H1-50 можно применять для устройства теплоизолирующих слоев на автомобильных дорогах. Изменилась номенклатура пенопластов, выпускаемых фирмой Дау Кемикал Компани: вместо марки H1-50 нужно применять марку FIOORMATE 500.

Таблица 1

Наименование показателей	Нормативный документ, регламентирующий метод определения показателя	Значения показателей физико-механических свойств пенопласта	
		начальные	конечные
Плотность, кг/м^3	DIN 53420 ГОСТ 15588–86	38	43,1
Прочность на сжатие при 10 % линейной деформации, МПа (Н/мм^2)	DIN 53421 ГОСТ 15588–86	0,40	0,48
Модуль упругости, МПа (Н/мм^2)	DIN 53421 ГОСТ 23404–86	15	19,2
Теплопроводность при 10 °С, Вт/(м · К)	DIN 52612	0,027	...
Теплопроводность в сухом состоянии при 20 ° С, Вт/(м · К)	ГОСТ 7076–87	...	0,0286
Теплопроводность в водонасыщенном состоянии при 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

3. КОНСТРУКЦИИ В РАЙОНАХ С СЕЗОННЫМ ПРОМЕРЗАНИЕМ

3.1. Принципы проектирования

Конструкция дорожной одежды должна удовлетворять нормативным требованиям по прочности, морозоустойчивости и дренированию [1]. 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 = 4 см при устройстве сборного покрытия, а также при устройстве дорожной одежды капитального типа с асфальтобетонным покрытием; L = 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 [1], 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].

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 (рис. 8).

При оттаивании пучинистых грунтов происходит их осадка с отжатием воды. Эта вода должна отводиться из-под дорожной одежды. Поэтому в конструкции типа C_2 нужно применять плиты пенопласта, имеющие прямую форму кромки для того, чтобы вода могла поступать в дренирующий слой через щели между плитами. 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 гидроизолирующего слоя. В зависимости от источника поступления воды и условий ее отвода из дорожной одежды применяют плиты с соответствую-

щей формой кромки для остальных конструкций, представленных на рис. 8. 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. 9 показан поперечный профиль дорожной конструкции типа C_1 (размеры даны в метрах). Такая конструкция построена на дороге Омск—Новосибирск [4].

Теплоизолирующий слой из пенопласта должен быть шире проезжей части на 0,5—1,5 м для изоляции грунтов под дорожной

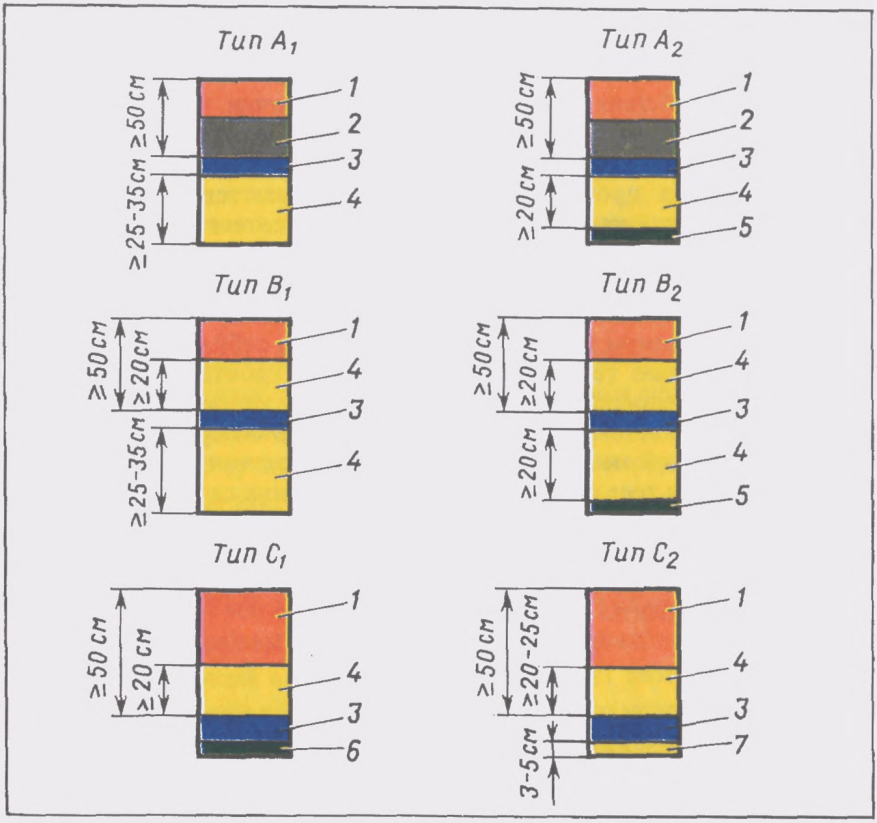


Рис. 8. Основные типы конструкций дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из пенопласта Styrofoam, применяемые при новом строительстве:

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

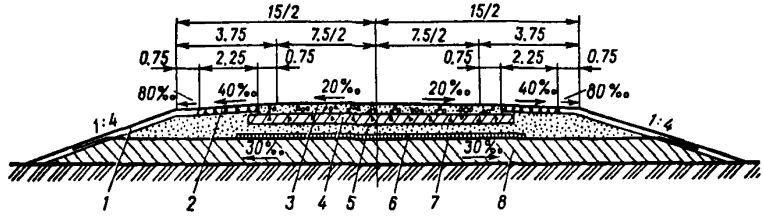


Рис. 9. Поперечный профиль дорожной конструкции типа С:
1 — засев трав по слою растительности грунта толщиной 0,15 м; *2* — щебеночный материал (0,1 м) с разливом битума (1,5 л/м^2); *3* — цементобетон (0,24 м); *4* — щебень, укрепленный 6 % цемента (0,21); *5* — песок (0,20 м); *6* — пенопласт Styrofoam (0,10 м); *7* — геотекстиль "дорнит"; *8* — грунт (глина легкая пылеватая)

одеждой от действия холода со стороны обочин. В случае недопущения промерзания грунтов под дорожной одеждой это значение составляет 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 размерах пучения грунтов.

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

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

где $L_{доп}$ — допустимое значение пучения грунта на участке ремонта (реконструкции) дороги, см; $h_{пуч(о)}$ — 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 — это 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. 8. При применении второго способа можно применять те же конструкции, но с дополнительным устройством под ними армирующей прослойки из геотекстиля типа "Тураг" марки 3857.

3.4. Расчет толщины слоя пенопласта

Для расчета необходимы следующие исходные данные: географическое местоположение рассматриваемого участка дороги; конструкция дорожной одежды (наименование и толщина слоев) без теплоизолирующего слоя, необходимая по условиям прочности и дренирования; тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна (1, 2 или 3) и глубина залегания подземных вод от низа дорожной одежды; наименование грунта земляного полотна.

Расчет толщины теплоизолирующего слоя ($h_{\text{п}}$), см, проводят в следующем порядке.

1. Определяют по карте (рис. 10) номер изолинии, которая проходит через рассматриваемый участок дороги. При расположении участка между изолиниями определяют номера этих двух изолиний.

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

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

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

В расчет следует включать фактические замеренные значения $\lambda_{\text{од}(i)}$. При отсутствии таких данных допускается включать в расчет табличные значения $\lambda_{\text{од}(i)}$ [2]. Для некоторых материалов $\lambda_{\text{од}(i)}$ имеет следующие значения: 1,74 Вт/(м·К) для цементобетона, 1,40 для плотного асфальтобетона, 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.

3. Определяют значение показателя пучинистого грунта $C_{\text{пуч}}$ (табл. 2). К среднепучинистым грунтам относятся супесь песчанистая, суглинок легкий песчанистый, суглинок тяжелый песчанистый, глина. К сильнопучинистым грунтам относятся песок пылеватый, супесь пылеватая, суглинок тяжелый пылеватый. К чрезмерно пучинистым грунтам относятся супесь пылеватая с содержанием песчаных частиц менее 20 % массы, суглинок легкий пылеватый.

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

4. Определяют значение коэффициента $C_р$, учитывающего влияние давления от веса дорожной одежды и мерзлых слоев земляного полотна на значение пучения грунта. Этот коэффициент устанавливают по табл. 3 в зависимости от толщины дорожной одежды $h_{од}$ и допустимой глубины промерзания земляного полотна $h_{пр(доп)}$.

При толщине дорожной одежды меньше или больше указанных в табл. 3 следует принимать значение $C_р$ по интерполяции соответствующих величин.

Первоначально нужно принимать значение $C_р$, соответствующее допустимой глубине промерзания земляного полотна от 0 до 50 (100) см.

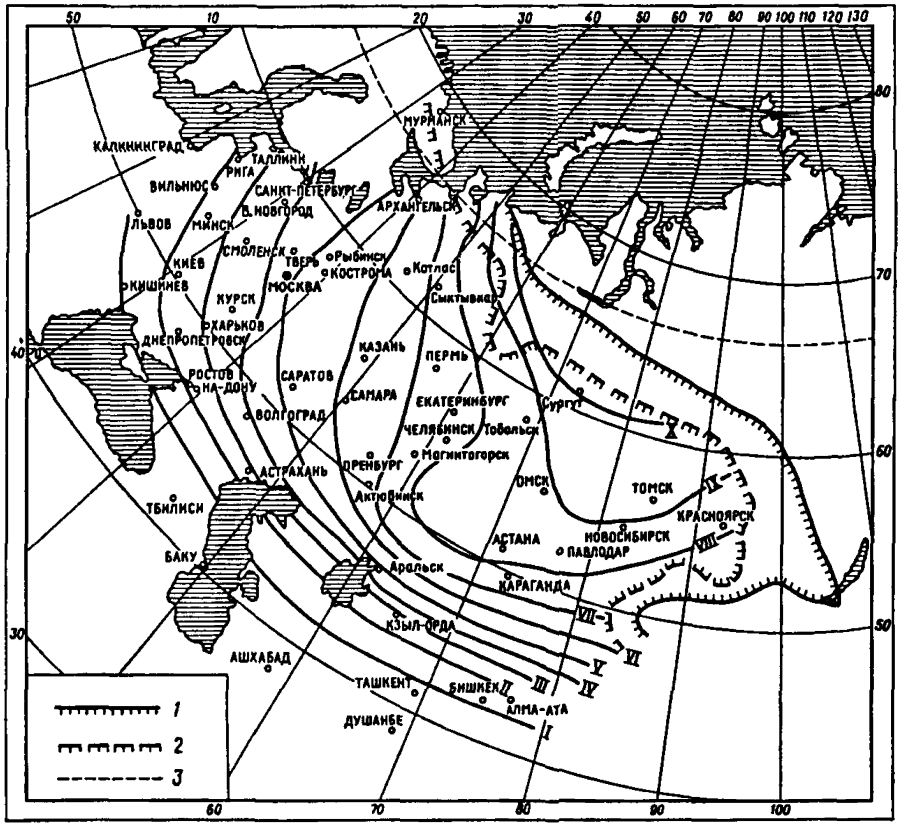


Рис. 10. Карта с изолиниями для определения требуемых значений термического сопротивления дорожной одежды:

I— X — номера изолиний; *1* — граница сплошного распространения вечномерзлых грунтов; *2* — то же островного (глубиной до 25 м); *3* — северный полярный круг

4 Зак. 996

5. Определяют по табл. 4 значения коэффициентов $K_{од}$, учитывающего срок службы дорожной одежды, и $K_{увл}$, учитывающего тип увлажнения рабочего слоя земляного полотна.

Значение коэффициента $K_{увл}$ нужно уменьшать на 5 % при расположении дороги в южной подзоне II дорожно-климатической зоны, на 10 % — при расположении дороги в III дорожно-климатической зоне и на 15 % — при расположении дороги в IV дорожно-климатической зоне [1].

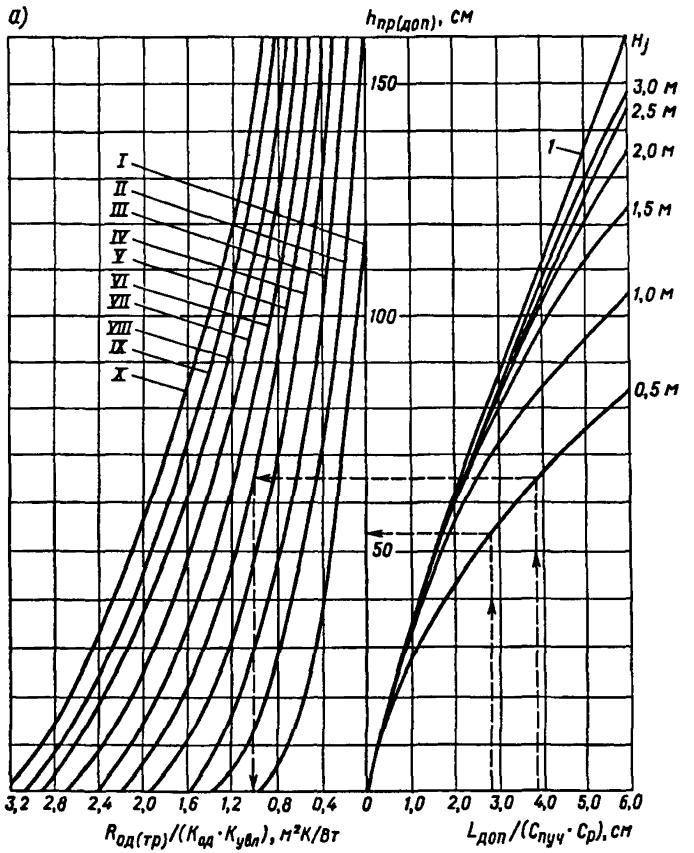


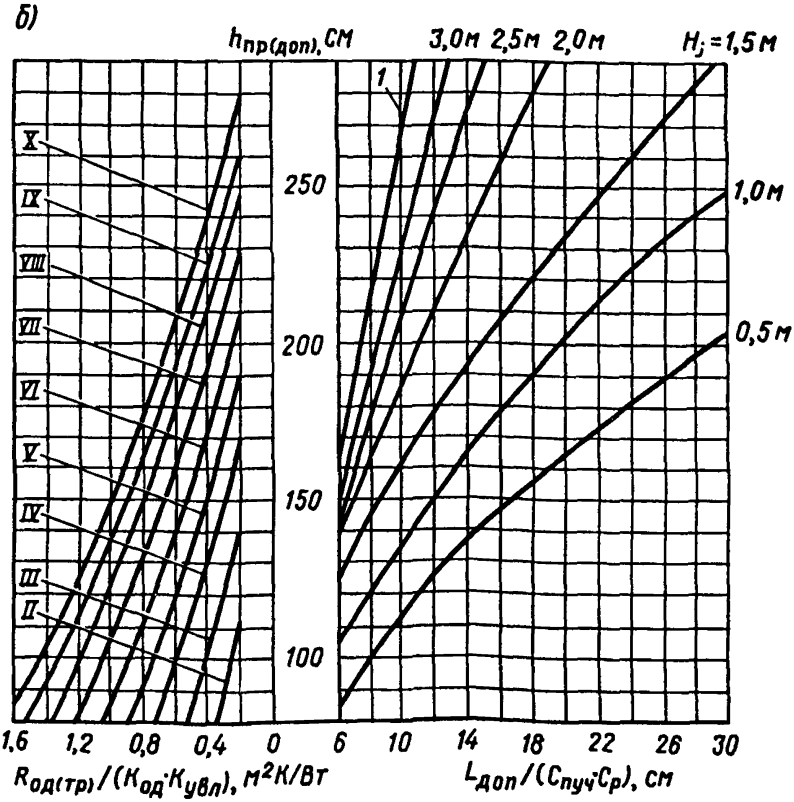
Рис. 11. Номограммы для определения требуемого термического сопротивления и от 6

I— *X* — номера изолиний на карте (см. рис. 10); *1* — кривая расчета для 1-го и 2-го типов

6. Устанавливают по номограмме (см. рис. 11) 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 ($H_у$, м) от низа дорожной одежды;



дорожной одежды $R_{од(тр)}$ при значениях $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$ от 0 до 6 см (*а*) до 30 см (*б*):
увлажнения рабочего слоя земляного полотна

4*

Таблица 2

Значения показателя $C_{пуч}$ для грунтов:		
среднепучинистых	сильнопучинистых	чрезмерно пучинистых
1,0	1,5	2,0

Таблица 3

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

Таблица 4

Номер изолинии на карте (см. рис. 10)	Значение коэффициента $K_{од}$ при сроке службы дорожной одежды между капитальными ремонтами			Значение коэффициента $K_{увл}$ при типе увлажнения рабочего слоя земляного полотна	
	менее 10 лет	10 лет	20 лет	1 тип увлажнения	2 и 3 тип увлажнения
I	0,70	0,85	1,0	0,85	1,0
II	0,70	0,85	1,0	0,65	1,0
III	0,80	0,90	1,0	0,55	1,0
IV	0,80	0,90	1,0	0,45	1,0
V	0,80	0,90	1,0	0,40	1,0
VI	0,80	0,90	1,0	0,35	1,0
VII	0,80	0,90	1,0	0,30	1,0
VIII	0,80	0,90	1,0	0,30	1,0
IX	0,80	0,90	1,0	0,25	1,0
X	0,80	0,90	1,0	0,25	1,0

уточняют по табл. 3 значение $C_р$ в зависимости от $h_{пр(доп)}$;

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

устанавливают по номограмме значение выражения $R_{од(тр)}/(K_{од}\times$ $\times K_{увл})$ в зависимости от $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$, типа увлажнения рабочего слоя земляного полотна и глубины залегания подземных вод ($H_у$) от низа дорожной одежды и номера изолинии на карте (см. рис. 10), которая проходит через рассматриваемый участок дороги;

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

При глубине залегания подземных вод на участке дороги, отличающейся от указанных на номограмме, нужно определять два значения $R_{од(тр)}$: одно — при значении $H_у$ на номограмме более, а другое —

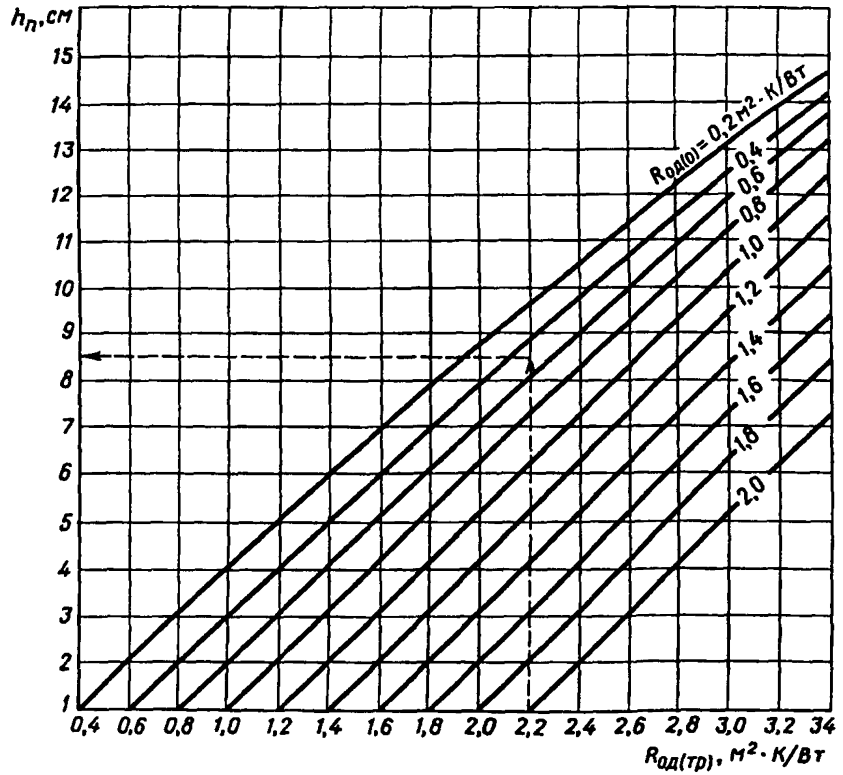


Рис. 12. График для определения необходимой толщины слоя пенопласта Styrofoam: $R_{од(тр)}$ — требуемое термическое сопротивление дорожной одежды; $R_{од(о)}$ — термическое сопротивление дорожной одежды без слоя пенопласта

при значении H_γ на номограмме менее глубины залегания подземных вод на участке. Искомое значение $R_{од(тр)}$ устанавливают методом интерполяции между соответствующими величинами.

7. Устанавливают по графику (рис. 12) необходимую толщину слоя пенопласта $h_п$, в зависимости от $R_{од(о)}$ и $R_{од(тр)}$.

При расположении рассматриваемого участка дороги между изолиниями на карте (см. рис. 10) определяют два значения $h_п$, соответствующих этим изолиниям, искомую толщину теплоизолирующего слоя определяют методом интерполяции в зависимости от расстояния от рассматриваемого участка до одной из изолиний.

3.5. Расчет величины пучения грунта

Для определения по форм. 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. 11).

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.

4. КОНСТРУКЦИИ В РАЙОНАХ С ВЕЧНОМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ

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 грун-

ты от оттаивания в течение всего срока службы дороги. 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 градусо-суток 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, которые имели место в наиболее теплом году, 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 данные о температуре грунта естественного основания на глубине не менее 10 м от поверхности земли. 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. 13 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 этот грунт находится в твердомерзлом состоянии в течение всего периода эксплуатации дороги. Его плотность в насыпи должна быть равна максимальной плотности, которую можно достигнуть при уплотнении песка в зимний период.

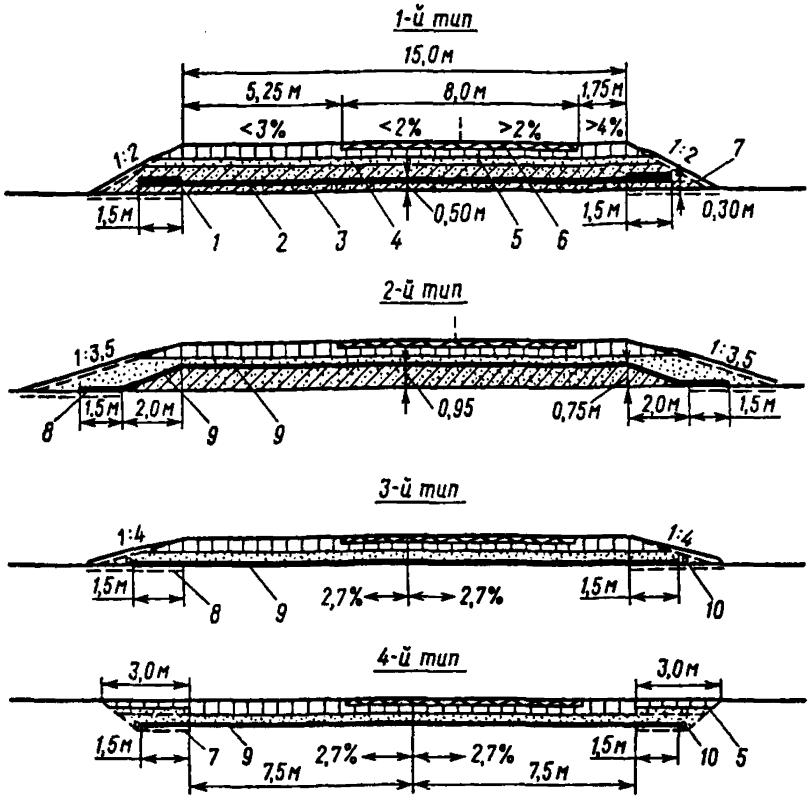


Рис. 13. Конструкции дорожной одежды и земляного полотна с теплоизолирующими слоями из пенопласта Styrofoam марки Floormate 500:
1 — пенопласт толщиной 8 см; *2* — пенопласт толщиной 6 см; *3* — пылеватый песок; *4* — мелкий песок; *5* — пескоцементная смесь; *6* — железобетонная плита; *7* — геотекстиль; *8* — пенопласт толщиной 14 см; *9* — пенопласт толщиной 13 см; *10* — трубчатая дрена

На рис. 13 приведены размеры дорожной конструкции на полуострове Ямал [6]. На проезжей части этой 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. 13 значения уклонов насыпи являются максимально допустимыми. Делать круче откосы нельзя, положе — можно.

При сооружении земляного полотна подготовительные работы (уборку снега, рубку и удаления 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 слой мелкого песка, укладывают и уплотняют слой пескоцементной смеси, укладывают железобетонные плиты (см. рис. 13). 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 сущест-

5 Зак. 996

вующих 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 течение всего периода эксплуатации дороги.

5. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ МОРОЗОЗАЩИТНОГО СЛОЯ, ЗАМЕНЯЕМОГО ПЕНОПЛАСТОМ

Традиционным решением дорожной одежды в районах сезонного промерзания грунтов является ее устройство 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 до уровня подземных вод (H_{γ}, 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. 5.

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.

Таблица 5

Номер изолинии на карте (см. рис. 10) *	Значение показателя $C_{пуч}$ 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

3. Определяют значение толщины 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, $м^2 \cdot К/Вт$; $R_{од(о)}$ — термическое сопротивление дорожной одежды без морозозащитного или теплоизолирующего слоя, $м^2 \cdot К/Вт$; $\lambda_{мз}$ — 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 форм. 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.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕНОПЛАСТА

Для устройства теплоизолирующих слоев на дорогах применяют пенопласт Styrofoam марки FIOORMATE 500. Данные о физико-механических свойствах этой марки пенопласта представлены в табл. 6

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

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.

Таблица 6

Наименование показателей	Нормативный документ, регламентирующий метод определения показателя	Единица измерения	Значение показателя
Плотность исходная	DIN 53420 ГОСТ 17177–87	кг/м^3	38/40
Теплопроводность при температуре 10 °С	DIN 52612 ГОСТ 7076–87	Вт/(м·К)	0,027/0,025
То же при температуре 20 °С	ГОСТ 7076–87	Вт/(м·К)	0,028
Водопоглощение	DIN 53434 ГОСТ 17177–87	об, %	0,20/0,45
Прочность на сжатие при 5 % деформации	ГОСТ 17177–87	Н/мм^2	0,51
То же при 10 % деформации	DIN 53421	Н/мм^2	0,50
Предел прочности при изгибе	ГОСТ 17177–87	Н/мм^2	0,72
Модуль упругости	DIN 53421	Н/мм^2	20
Капиллярность	—	—	0
Огнестойкость — группа воспламеняемости	ГОСТ 3002	—	В1 — трудновоспламеняем
Диапазон рабочих температур	—	°С	От минус 50 до плюс 75

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.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример 1. Определить необходимую толщину теплоизолирующего слоя из пенопласта на участке дороги, проходящей в районе г. Москвы, при неблагоприятных грунтово-гидрологических условиях. На этом участке подземные воды 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, состоящей 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 карте (см. рис. 10) номер изолинии, которая проходит через рассматриваемый участок дороги — *V*. По формуле 2 $R_{од(о)}$ = 0,46 м^2·К/Вт. По табл. 2 $C_{пуч}$ = 2,0. По табл. 3 — $C_р$ = 0,76 для суглинка легкого пылеватого при $h_{од}$ = 0,7 м и $h_{пр(доп)}$ = 0—50 см. По табл. 4 $K_{од}$ = 0,90 и $K_{увл}$ = 0,95. По номограмме (см. рис. 11) $h_{пр(доп)}$ = 72 см при $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$ = 2,6 и $H_γ$ = 1,45 м. По табл. 3 $C_р$ = 0,73 при $h_{од}$ = 0,7 м и $h_{пр(доп)}$ = 72 см. По номограмме (см. рис. 11) $R_{од(тр)}$ = 0,81 м^2·К/Вт при $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$ = 2,7, $H_γ$ = 1,45 м, $K_{од}$ = 0,90, $K_{увл}$ = 0,95.

По графику (см. рис. 12) определяют искомую толщину слоя пенопласта: $h_п$ = 1,8 см при $R_{од(о)}$ = 0,46 м^2·К/Вт и $R_{од(тр)}$ = 0,81 м^2·К/Вт. Учитывая минимальные размеры плиты (см. прилож. 1), принимается толщина слоя пенопласта 3 см.

Пример 2. Определить толщину морозозащитного слоя из песка, заменяемого пенопластом, для указанной дороги в районе г. Москвы. Расчет проводят согласно п. 5. Исходные данные те же, что и ранее. Задаемся величиной $h_{мз}$ = 0,95 м. В этом случае $h_{од}$ = 1,65 м и $H_γ$ = 0,5 м. По табл. 3 $C_р$ = 0,64 при $h_{од}$ = 1,65 м и $h_{пр(доп)}$ = 0—100 см. По табл. 4 $K_{од}$ = 0,90 и $K_{увл}$ = 0,95. По табл. 5 $C_{пуч}$ = 1,80. По номограмме (см. рис. 11) $h_{пр(доп)}$ = 62 см при $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$ = 3,5 см и $H_γ$ = 0,5 м. По табл. 3 $C_р$ = 0,64 при $h_{од}$ = 1,65 м и $h_{пр(доп)}$ = 62 см. По номограмме (см. рис. 11) $R_{од(тр)}$ = 0,92 м^2·К/Вт при $L_{доп}/(C_{пуч}\ C_р)$ = 3,5 см, $H_γ$ = 0,5 м, $K_{од}$ = 0,90, $K_{увл}$ = 0,95. По форм. 3 $h_{мз}$ = 0,92 м. Расчет закончен, так как разница между заданным и полученным значениями $h_{мз}$ составляет 3 см, что менее 5 см. Получаем, что толщина морозозащитного слоя, заменяемого пенопластом, составляет 0,95 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Строительные нормы и правила 2.05.02-85. Автомобильные дороги. М.: ЦИТП Госстроя, 1986. 56 с.

2. 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.

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

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

5. Технические указания по устройству дорожной одежды с теплоизолирующим слоем из пенопласта стайрофоум на дорогах г. Москвы. М.: Мосинжпроект, 1997. 25 с.

6. Конструктивные решения дорожной одежды и земляного полотна с теплоизолирующими слоями из пенопласта стайрофоум на дороге Промбаза-База дирекции на полуострове Ямал.Под ред. В. И. Рувинского. Надымгазпром, 1998. 78 с.

V. I. RUVINSKY

Manual for construction of STYROFOAM heat-insulating layers on roads in Russia

V.I. Ruvinsky. Manual for Construction of Styrofoam Heat-Insulating layers on Roads in Russia. — M. Transport, 2000, 71 p.

The Manual shows problems which can be solved by means of plastic foam "Styrofoam" manufactured by the Dow Chemical Company. Compared to the traditional solutions of road structures, the use of plastic foam makes it possible to reduce the frost-protective layer thickness, to decrease the embankment height and cut depth, to use the soil of increased moisture content, to improve the evenness and durability of pavements.

It is shown that in some cases plastic foam can only provide the strength and frost resistance of road structures.

The results of investigations on choosing a required grade of plastic foam for installing the heat-insulating layers in road structures are given.

The principles of designing road structures with the plastic foam heat-insulating layers are shown.

The road structures with the plastic foam heat-insulating layers in regions of a seasonal freezing of soils and in those of permafrost are presented.

The Manual presents nomograms for determining the required thickness of a plastic foam layer and for designing the frost-protective layer replaced by plastic foam.

The brochure is intended for engineers engaged on the road design and construction and it may help teaching staff and students of transport institutes of higher education. The nomograms of the brochure may be used for specifying the required thickness of a plastic foam layer in the airfield pavements.

ISBN 5-277-02144-2

© V. I. Ruvinsky, 2000

CONTENTS

Introduction 40

1. Problems solved by means of plastic foam 41

1.1. Decrease in the thickness of a frost-protective layer 41
1.2. Decrease in an embankment height 42
1.3. Decrease in a cut depth 44
1.4. Use of soils of increased moisture content 45
1.5. Improvement of the pavement durability and evenness 46
1.6. Solutions feasible only with the use of plastic foam 47

2. Determination of the required plastic foam grade 49

2.1. Conditions of the plastic foam performance in the structure 49
2.2. Tests on roads 50

3. Structures in the seasonal freezing regions 51

3.1. Principles of designing 51
3.2. Structures for new construction 52
3.3. Structures for road repair and reconsruction 54
3.4. Design of the plastic foam layer thickness 55
3.5. Computation of the soil heave value 62

4. Structures for permafrost regions 62

4.1. Design principles 62
4.2. Types of structures 63
4.3. Design of the plastic foam layer thickness 65

5. Design of the frost-protective layer replaced by plastic foam 66

Appendix 1. Engineering characteristics of plastic foam 68
Appendix 2. Design examples 70
References 71

INTRODUCTION

The Manual has been worked out in elaboration of the requirements of SNIP (Construction Norms and Rules) on the construction of heat-insulating layers [1]. The Manual makes it possible to solve quite a number of problems of road construction on the provision of the road pavement strength and frost resistance and of the subgrade stability in the regions of a seasonal freezing of soils and in those of ever frozen soils. The problems are proposed to be solved by means of plastic foam heat-insulating layers.

The Manual represents structures with plastic foam-insulated layers and methods for their design. Some of them can replace traditional road structures, others are the only possible solutions of the problem of providing the road pavement strength and frost resistance and the subgrade stability. The Manual allows to appreciate an effeciency of using structures with plastic foam insulating layers as compared to traditional structures, including the design of the thickness of the frost-protective layer replaced by plastic foam.

The Manual proposes recommendations for choosing a plastic foam grade for installing the heat-insulating layers. At present there are data of long-term tests of plastic foam on the roads in Russia only for the Styrofoam grade produced by the Dow Chemical Company. The tests showed that the above-said plastic foam could be used for the construction of heat-insulating layers on the roads in Russia [4].

Appropriate specifications and standards (1—6) allowing to construct roads with the Styrofoam heat-insulating layers have been developed in Russia. Styrofoam has been certificated by the Ministry of Construction of Russian Federation.

The Manual presents nomograms making it possible to determine the required thickness of a plastic foam layer on the roads in the regions of a seasonal soil freezing. The nomograms may be used for specifying the required thickness of a plastic foam layer in the airfield pavements. In this case the allowable value of soil heave should be included into computation according to the standards for airfields.

The Manual may be used not only for road building in Russia but in the countries of CIS (Commonwealth of Independent States) and in the Baltic States as well.

1.1. Decrease in the thickness of a frost-protective layer

In regions of a seasonal freezing of soils, the value of their heaving under the road pavement should not exceed allowable values [2]. To meet those requirements, the frost-protective layers are constructed from conforming sands, sand-gravel mixtures, gravel, soils treated with binders and other nonfrost-susceptible heaving materials. On the section of unfavourable soil-hydrological conditions, the thickness of a frost-protective layer can reach 1 m and more. On such sections, it is difficult to provide the required amount of conforming soils and materials for the construction of frost-protective layers. In many regions, there are no such soils and materials. The haul distance of conforming sands totals tens and hundreds of kilometers.

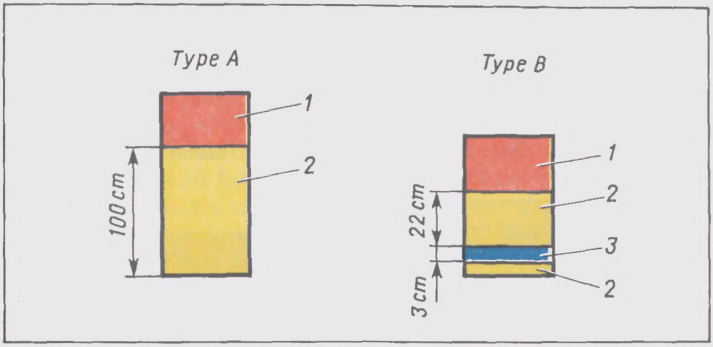


Fig. 1. Road pavement structures of the same frost resistance under conditions of Moscow:
1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — sand; *3* — Styrofoam

The installation of a plastic foam heat-insulating layer makes it possible to decrease the thickness of a frost-protective layer significantly or to exclude it completely.

Figure 1 shows the road pavement structures including the frost-protective layer made from sand (type A) and the heat-insulating layer made from plastic foam (type B). The structures meet the requirement as per strength and frost resistance under conditions of Moscow [5].

1.2. Decrease in an embankment height

In regions of a seasonal soil freezing the embankment height must have such value lest the overwetting of soil of a subgrade working layer should occur. The embankment height depends on the soils, which are included in the subgrade working layer [1]. The thickness of the working layer is assumed to be equal to 2/3 of a freezing depth but not less than 1.5 m from the pavement surface.

The plastic foam heat-insulating layer makes it possible to reduce the working layer thickness at the expense of decreasing the freezing depth. Due to this, it is possible to exclude unfavourable soils from the working layer, which permits to lower the requirements for the minimum height of embankment.

Figure 2 shows the minimum values of embankment heigts which have to be constructed in the Arkhangelsk region on the sections where ground waters are on the level of the ground surface. In case of a traditional road pavement the embankment height made from fine sand or sandy loam should be not less than 2.0 m (type A). In case of a road pavement structure with the heat-insulating layer preventing soil freezing below the ground surface, the embankment height should be not less than 1.5 m (type B).

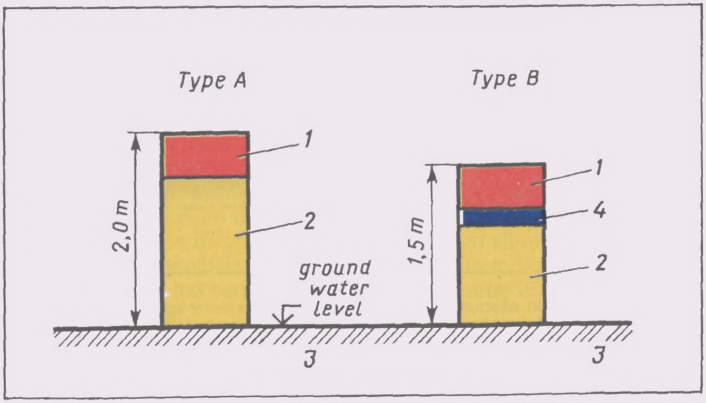


Fig. 2. Minimum values of embankment heights in the Arkhangelsk region when constructing the traditional road pavement (Type A) and the road pavement with plastic foam preventing soil freezing below the ground surface (Type B):
1 — road pavement; *2* — fine sand or sandy loam; *3* — silt sandy loam and silt loam; *4* — Styrofoam

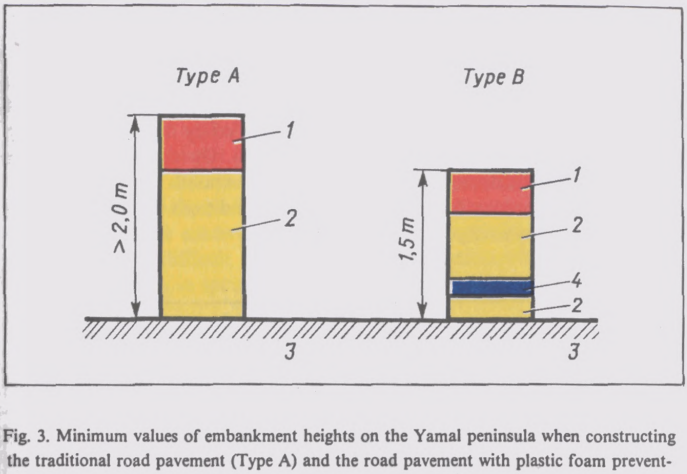


Fig. 3. Minimum values of embankment heights on the Yamal peninsula when constructing the traditional road pavement (Type A) and the road pavement with plastic foam preventing soil thawing below the ground level (Type B):
1 — road pavement; *2* — fine sand; *3* — ice saturated soil; *4* — Styrofoam

The use of plastic foam makes it possible to reduce the embankment height and, at the same time, to decrease the frost-protective layer thickness. On the Omsk — Novosibirsk highway, the use of plastic foam allowed to reduce the embankment height by 0.9 m and to decrease the thickness of the frost-protective layer made from sand by 0.3 m [4].

The basic principle of constructing roads in the regions of perennially frozen soils consists in the preservation of ice-saturated soils under the embankment bottom in a hard-frozen state during the whole period of road operation. When thawing such soils lose their bearing capacity, and there appears a subsidence resulting in road damage.

In order to prevent soil thawing, one constructs a high embankment. The embankment height can be reduced at the expense of installing the plastic foam heat-insulating layers. Figure 3 presents minimum values of embankment heights which have to be constructed on the Yamal peninsula, with the 30-year service life of the road [6].

In the case of building conventional subgrade structures from fine sand, the embankment height must be more than 2.0 m (type A). If the subgrade is built with the plastic foam heat-insulating layers, the embankment height must be 1.5 m (type B), proceeding from the condition of non-snow-drifting the road.

1.3. Decrease in a cut depth

Under unfavourable soil-hydrological conditions in the regions of a seasonal soil freezing, thick frost-protective layers (type A) are installed in the cuts. The same frost-resistance can be provided by means of installing thin plastic foam heat-insulating layers (type B). Owing to reducing the road pavement thickness, the cut depth is decreased. As a result, the amount of earthworks is cut down and the conditions of their fulfilling become easier, especially in the rain period.

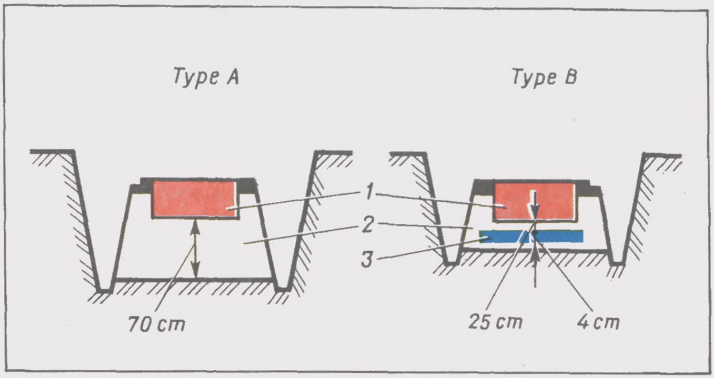


Fig. 4. Subgrade structures in the cuts on the Omsk—Novosibirsk road when constructing the traditional road pavement (Type A) and the road pavement with Styrofoam (Type B):
1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — medium-grained sand; *3* — Styrofoam

Figure 4 shows the subgrade structures in the cuts on the Omsk—Novosibirsk highway section, from the design kilometer 38 + 500 to km 76 + + 515. The highway has been designed according to the standards of the 1st category. The road pavement in the structures of types "A" and "B" meets the requirements as per strength and frost resistance.

The required amount of plastic foam is 840 m^3 per 1 km of road. At the expense of installing a heat-insulating layer the required quantity of conforming sand (i. e. non-frost susceptible sand with the filtration coefficient higher than 2 m/day) is reduced by 11920 m^3 per 1 km of road and the amount of earthworks is decreased by 24400 m^3 — 35400 m^3 (depending on the cut depth) per 1 km of road.

1.4. Use of soils of increased moisture content

When constructing the subgrade, it is necessary to compact the working layer soils to the required density [1]. When conctructing the road pavement with an asphalt surfacing or a cement concrete pavement, the soil density must be not less than 0.98 and 1.0, respectively, of the maximum density in accordance with the standard compaction method of GOST 22733—90 (State Standard). Compaction like that is possible only when the moisture content of soil is close to the optimum one (Wopt).

It is usually difficult to provide the construction with such moisture content, especially in spring after snow thawing and in autumn in the rain period.

The use of the plastic foam heat-insulating layers makes it possible to apply soils of increased moisture content for constructing the subgrade working layer fulfilling three conditions. First, the type of the subgrade working layer should be the first or the second one [1]; second, the soil should be compacted to the density not lower than 0.95 of the maximum one and, third, the plastic foam thickness must have such value lest a soil freezing under the road pavement should occur.

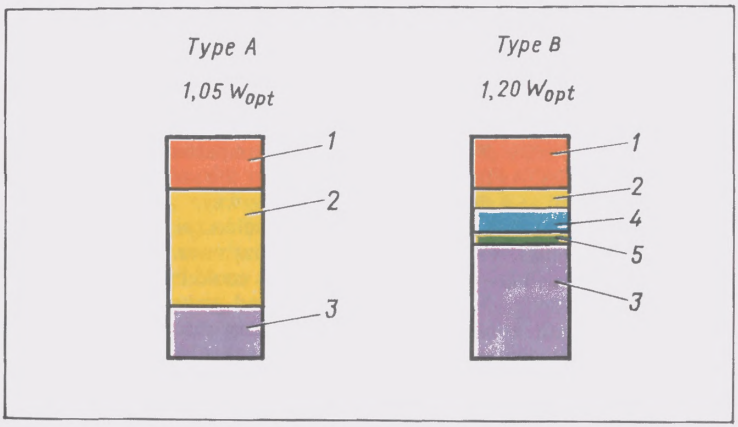


Fig. 5. Allowable values of moisture content of heavy silt loam at which the soil can be compacted to the specified values when constructing the traditional road pavement (Type A) and the road pavement with plastic foam (Type B):
1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — sand; *3* — heavy silty loam; *4* — Styrofoam; *5* — geotextile

Under these conditions the soil frost heaving does not take place and only its shrinkage in summer period occurs. As a result, the soil is compacted additionally to the maximum density and even more [4].

Figure 5 shows maximum values of moisture content of heavy silty loam, at which it is possible to use this soil for constructing the subgrade working layer in case of a traditional road pavement structure with the asphalt surfacing (type A) and in case of installing the plastic foam heat-insulating layer in the structure (type D).

1.5. Improvement of the pavement durability and evenness

During the road operation in the regions of a seasonal freezing, the all-round-year process of varying the density and moisture content of the heaving soils takes place. The process consists of the four periods: swelling in autumn, frost heaving in winter, soil subsidence when thawing in spring, and shrinkage when drying in summer. All-round-year variations of the density and moisture content are repeated during the whole service life of the structure. In this case, as a result of the subsidence and shrinkage of soils for a spring summer period, there can or cannot occur a restoration of their initial density achieved in constructing the road. In the latter case, losses of compaction of soils will occur if frost heaving is repeated year after year until their density in summer becomes equal to "everyday density" [3].

The above said processes of upheaval and subsidence of the road pavement develop nonuniformly over the carriageway area. Especially often these phenomena occur in spring, when under the action of vehicle traffic a nonuniformity of subsidence of the discompacted and water-saturated soil intensifies. As this takes place, the more the soil heave, the more nonuniform heaval and subsidence of the carriageway.

Such an annual effect on the road pavement influences its durability and the surfacing evenness. To eliminate frost heavinq means to increase the surfacing durability and evenness. In theory, this could by done be replacing frost heaving soils with conforming sand, sand-gravel mixture, gravel, soil stabilized with a binder and other nonfrost-susceptible materials through the whole depth of freezing. And it is actually impossible to do this in the regions where the freezing depth amounts to 3.0 m and more.

The installation of plastic foam heat-insulating layers makes it possible to prevent freezing of heaving soils under the road pavement. As a consequence of this, the basic factor of losses of compaction of the subgrade working layer soils is removed.

The density of the non-swelling and weakly-swelling soils actually does not change during road operation. The moisture content of soils compacted to the specified values does not also change. Under these conditions the bearing capacity of the working layer soils does not practically change

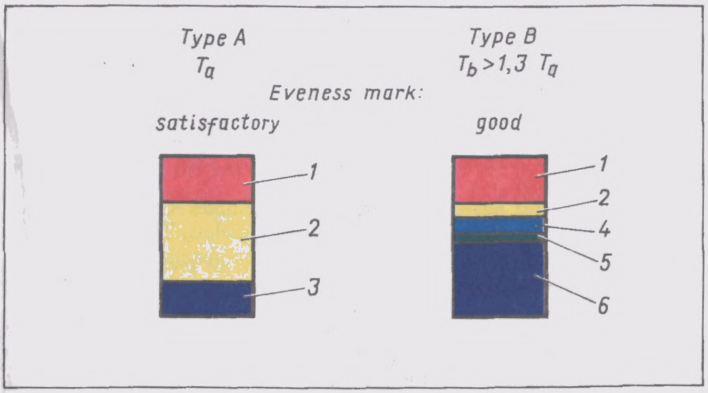


Fig. 6. Indices of the surfacing service life and evenness when constructing the traditional road pavement (Type A) and the road pavement with plastic foam (Type B):
1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — sand; *3, 6* — soil; *4* — Styrofoam; *5* — geotextile

from season to season. Only owing to this factor the surfacing durability increases approximately by 30 % as compared to the traditional solution of the structure. The service life of the structure using plastic foam will be considerably longer than the indicated value because there will be no annual nonuniform upheaval and subsidence of the road pavement, which determines to a large extent the structure durability.

Figure 6 shows the relationship between the service life of surfacings (T, years) in case of a traditional road pavement structure (type A) and when the structure is built with the plastic foam layer preventing freezing of soils of the subgrade working layer (type B). The Figure also shows the data concerning a surfacing evenness on the Omsk—Novosibirsk hiqhway. The measurements were fulfilled after 12 years of road service [4].

1.6. Solutions feasible only with the use of plastic foam

One of the tasks of the road maintenance service consists in eliminating frost heaves on the existing road network. Frost heaves are called the road pavement and subgrade deformations, which are displayed in winter in forming frost mounds and in a surfacing evenness failure and in the period of thawing, when vehicles run, in a road pavement damage due to decreasing the strength of the overwetted soils.

Under conditions of Russia the frost heaves significantly complicate road operation. On separate road sections, the length of frost heaves amounts to 30 % and more. According to the data of Irkutskgiprodornii (1998), there are seven heaving places 6.5 km long in total on the Tyumen—Omsk road section from the 248th km to the 297th km. On the Baikal road section, the border of the Krasnoyarsky krai — the city of Irkutsk from the 1689th km to the 1712th km, there exist 10 heaving places 6.8 km long in total.

Control of frost heaves using traditional methods is of low efficiency in many cases, and, sometimes, it is absolutely useless. The only solution making it possible to eliminate frost heave is the installation of a plastic foam heat-insulating layer.

Figure 7 shows one of such cases. The road is on the embankment 1 m high. The land is flat, the surface runoff is not provided. Silty sandy loam is under the embankment. There is ground water (perched water), the level of which coincides with the ground surface. The freezing depth in the open field is over 1.5 m. There are frost heaves on the road.

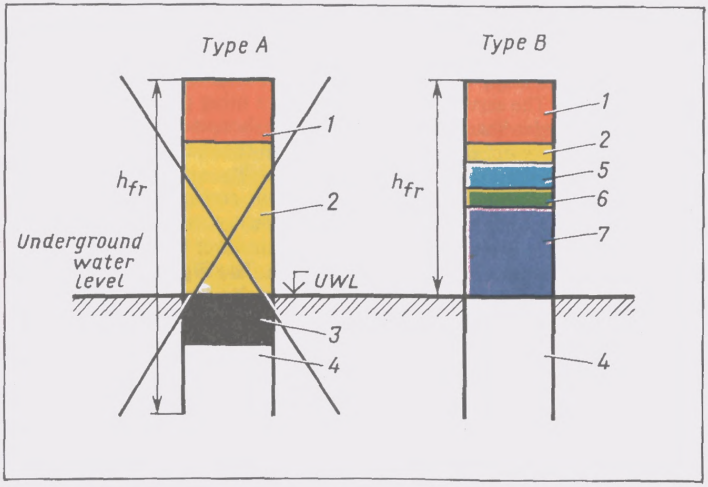


Fig. 7. Road pavement with a frost-protective layer (Type A) and a plastic-foam heat-insulating layer (Type B) considered when solving the problem of removing frost heaves from the road:

1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — sand; *3* — gravel; *4* — silty sandy loam; *5* — Styrofoam; *6* — geotextile; *7* — soil of the existing embankment; h_{fr} — freezing depth

The reconstruction of the heaving road section provides for building the road pavement 0.5 m thick. If an additional frost-protective layer is installed, its thickness should be more than 0.5 m (type A). Under such conditions, the road pavement bottom is located below the ground surface in the area of perched water.

To provide the required durability of the structure, it is necessary to drain water from the road pavement courses and the upper layers of the subgrade. These requirements cannot be fulfilled. It is impossible to drain water in the flat land, when a portion of the frost-protective layer is below the ground water level. Therefore, under the above said conditions the frost-protective layer for eliminating frost heaves should not be installed. The frost-protective layer made from granular materials has much more disadvantages. It will be filled with water below the ground level, as a result of which the bearing capacity of the granular material will decrease. The frost-protective layer filled with water will not eliminate frost heaving, for there will occur ice formation.

The structure including a plastic foam heat-insulating layer (type B) has no drawbacks indicated and allows to remove frost heaves from the roads.

In regions of ever frozen soils, there may be such situations when it is impossible to manage without using plastic foam. One of these situations is a forced construction of the subgrade in the low fill due to the territory relief [6]. If the plastic foam heat-insulating layer is not installed, there will occur a thawing of ice-saturated soils under the embankment bottom, which will result in a road failure. The use of plastic foam makes it possible to prevent a thawing of soils and to save the road.

2. Determination of the required plastic foam grade

2.1. Conditions of the plastic foam performance in the structure

Plastic foam in the structure is subjected to the effect of force and natural factors. The action of short-term repeated loads resulted from vehicle traffic causes compression deformation at bending of plastic foam. The effect of natural factors on the plastic foam layer is manifested in freezing and thawing, in moistening and drying, in nonuniform heaval and subsidence of the heat-insulating layer. Under conditions of Russia, the temperature gradient through the depth of the plastic foam layer amounts to 1.5 deg/cm and more.

The action of loads from vehicle traffic takes place under conditions when the upper part of the plastic foam layer is in a thawed state and the lower one is frozen, and vice versa. Under such combined action of force and natural factors, it is difficult to model the plastic foam performance in the structure. The main mechanism of a plastic foam failure is the material fatigue. **The basic criterion for specifying a plastic foam grade is the results of field observations.**

2.2. Tests on roads

In 1983—1999 according to the indication of Ministry of Construction, the tests of Styrofoam of grade HI-50, were conducted on the Omsk—Novosibirsk highway (region of seasonal freezing) and on the Urengoy — 185 road (region of perennially frozen soils).

The section of the Omsk—Novosibirsk highway with the Styrofoam heat-insulating layers is in the area of the town of Chulym [4]. This area is characterized by severe freezing winters, hot summers and unfavourable soil hydrological conditions. According to Hydrometeorological Center, the air temperature can be as low as – 50 °C in winter and as high as +38 ° C in summer. In the period of testing plastic foam the sum of negative degree-days was from 1133 to 2575 for one winter.

The road on the Styrofoam-insulated section runs across the territory without surface runoff. The perched water is found at the depth of 0.5 to 1.7 m from the ground surface. The subgrade made from light silty clay is in the embankment 1.65 m high. The same is under the embankment bottom. The road pavement of the trial section has a cement concrete pavement (Fig. 9). Styrofoam insulation has been in the road pavement for 12 years. In order to assess the durability of Styrofoam, the plastic foam samples were taken from the trial section of Omsk—Novosibirsk highway. The samples were tested by the Test Center "Stroypolymertest". The results of the test are presented in Table 1.

The data of Table 1 make it possible to conclude that the Styrofoam properties remained actually the same during the road service, with the exception of some degree of its compression during the construction of the road pavement.

The test results showed that Styrofoam of HI-050 grade could be applied for installing heat-insulating layers on the roads. At present the nomenclature of plastic foams produced by The Dow Chemical Company has changed. Instead of HI-50 grade, the Floormate 500 grade should be taken.

Table 1

Parameters	Method of Determination	Values of indices of physico-mechanical properties of plastic foam	
		Initial	Final
Density, kg/m^3	DIN 53420 / GOST 15588–86	38	43.1
Compression strength at 10 % linear deformation, MPa (N/mm^2)	DIN 53421 / GOST 15588–86	0.40	0.48
Modulus of elacticity, MPa (N/mm^2)	DIN 53421 / GOST 23404–86	15	19.2
Thermal conductivity at 10 °C, W/(m · K)	DIN 52612	0.027	...
Thermal conductivity in dry state at 20 °C, W/(m· K)	GOST 7076–87	...	0.0286
Thermal conductivity in water-saturated state at 20 °C and moisture content of 4.6 % by weight, W/(m · K)	GOST 7076–87	...	0.0301
Water absorption of entire board, % by volume	DIN 53434	0.2	...
Water absorption after 300 freezing and thawing cycles, % by volume	DIN 53434	1.0	...
Water absorption during 24 hours, % by volume	GOST 15588–86	...	0.53

3. Structures in the seasonal freezing regions

3.1. Principles of designing

The road pavement structure should meet specifications as per strength, frost resistance and drainage [1].

The requirements as per frost resistance consist in that the value of soil heaving under the road pavement not exceed allowable values. In Russia, the value of soil heaving on the road, L_{all}, is assumed to be equal to 3 cm in case of a cast-in — place cement concrete pavement, 4 cm — in case of a precast pavement, 4 cm — in case of an asphalt surfacing of the road pavement of capital type, 6 cm — in case of an asphalt surfacing of the road pavement of lightened

type. For roads of international class the allowable value of soil heave under the road pavement must not exceed 2 cm.

The allowable value of soil heave is specified by a customer for constructing the road and this value should not be higher than the value presented above. The lower is the allowable value of soil heave, the better is the surfacing evenness during road operation and the longer is the road operation and the longer is the road pavement service life.

An installation of the plastic foam heat-insulating layer permits to reduce the value of heave at the expense of decreasing the depth of subgrade freezing. The required thickness of the plastic foam insulating layer should be determined for the road pavement structure complying with the requirements for strength and drainage. The thickness of the plastic foam layer is specified with taking into account a service life of the road pavement between capital repairs, type of moistening the subgrade working layer [1], depth of the occurrence of underground waters from the bottom of the road pavement, and soils. When soils of various types occur within the freezing depth, it is necessary to consider in the design the parameters of the soil with the highest degree of heaving.

The Styrofoam-insulated layer should be placed at the depth at least 0.5 m from the road surface lest the frequency of glazed frost formation on the road surface should exceed 10 % as compared to the section with a traditional road pavement structure [3].

3.2. Structures for new construction

When designing, there may be 6 basic types of solution for road structures with the Styrofoam heat-insulating layer. The choice of a necessary solution depends on the road pavement structure designed on the strength and drainage conditions, and on its cost. Figure 8 shows the types of solutions for the road pavement.

When the heaving soils thaw, there occurs their subsidence followed by squeezing out water. This water should be drained from under the road pavement. In this connection, in the structure of type "C_2", it is necessary to use plastic foam boards with edges of straight shape in order that water could flow into the draining layer through the slits between the boards.

The structure of type "B" is built with the use of plastic foam boards the edges of which are of stepped shape. The rest of the structures shown in Figure 8 are built with the use of plastic foam boards which have one or other shape of the edges depending on the source of water inflow and conditions of water drainage.

The thickness of a draining layer depends on the filtration coefficient of sand. If it is equal to 3 m/day and more, the minimum thickness of a draining layer in the structure of type "C_2" is 20 cm, if the filtration

coefficient is less than 3 m/day, the thickness of a draining layer amounts to 25 cm.

Figure 9 shows a cross section of the road pavement structure of type "C_1" (sizes are given in metres). The Omsk—Novosibirsk highway has such a structure, [4].

The width of the plastic foam-insulated layer should be greater than that of the carriageway by 0.5 m (0.5 m) — 1.5 m (2.0 m) for insulating the soils under the road pavement against the cold effect from the side of shoulders. The values in brackets are assumed in case of preventing soil

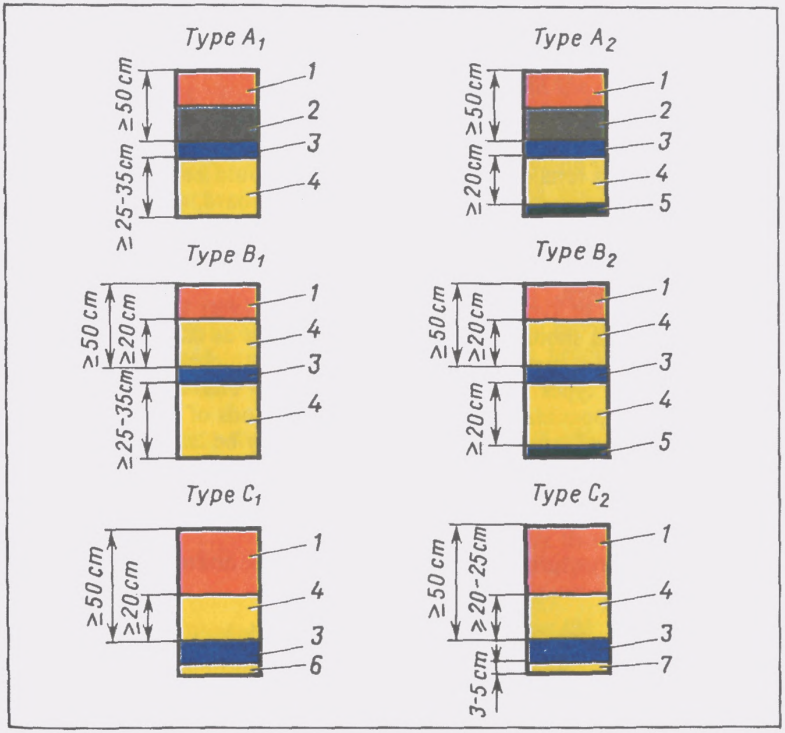


Fig. 8. Basic types of road pavement structures with the Styrofoam heat-insulating layer used in new construction:

1 — surfacing and base courses of road pavement; *2* — cement concrete base course; *3* — Styrofoam; *4* — sand draining layer; *5* — geotextile interlayer against silting; *6* — geotextile draining interlayer; *7* — sand levelling course

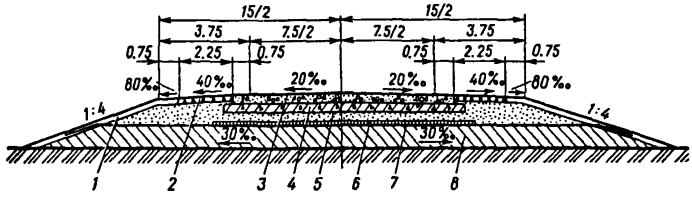


Fig. 9. Cross section of the road structure, Type C:
1 — grass sown on the 0.15 m layer of soil; *2* — crushed stone (0.1 m) bound with bitumen (1.5 l/m^2); *3* — cement concrete (0.24 m); *4* — crushed stone stabilized with 6 % of cement (0.21 m); *5* — sand (0.20 m); *6* — Styrofoam (0.10 m); *7* — "dornit" geotextile; *8* — soil (light silty clay)

freezing under the road pavement. Peculiarities of fulfilling construction jobs are as follows.

The plastic foam boards are placed on sand or geotextile. The sand is preliminarily compacted and levelled, the subgrade soil under the geotextile is compacted and levelled as well. The boards should be rested upon the whole area of sand and geotextile. To retain each board, at least 2 wooden stakes driven flush with the surface of the heat-insulating layer are used. Building equipment is not allowed to work directly on the plastic foam heat-insulating layer.

In structures of types "B" and "C", the first layer of sand over the Styrofoam boards should be filled at least as thick as 0.2—0.25 m in the dense body using a method "from yourself". The thickness of sand layer depends on the types of compactig equipment. The sand layer being compacted, it is possible to use conventional methods of construction.

In structures of type "A", cement concrete may be laid directly on the Styrofoam boards.

3.3. Structures for road repair and reconstruction

Repair (reconstruction) of a heaving road section should be perfomed so that after completing construction works the following requirements be fulfilled:

soil heave at places where a heaving section adjoins a sound one should be equal to the heaving value of the latter;

soil heave in the middle part of a repaired (reconstructed) road section should not exceed an allowable value for a specified type of the pavement;

an intensity of variation in the soil heaving value along the length of a repaired (reconstructed) road section should not exceed an allowable value.

The fulfilment of these requirements increases the road pavement durability and allows to prevent pavement cracking at places of adjoining a sound road section due to the difference in soil heave values.

On the approach to a sound road section, a transition zone with a plastic foam layer of variable thickness must be built. The length of the zone is determined by formula:

$$l_{tz} = \frac{L_{all} - h_{h(o)}}{I_{tz}}, \quad (1)$$

where l_{tz} = length of the transition zone, m; L_{all} = allowable value of soil heave on the repaired (reconstructed) road secttion, cm; $H_{h(o)}$ = soil heaving value on the sound road section, cm; I_{tz} = admissible intensity of variation in a soil heaving value along the length of the transition zone, cm/m.

The following values of I_{tz} should be applied in the design:

0.1 cm/m — when laying the concrete pavement;

0.2 cm/m — when laying the asphalt concrete pavement.

On the heaving section, the soil loses its density and is overwetted. The repair (reconstruction) of this section begins with restoring the bearing capacity of the subgrade. This is performed by two methods. The first method includes the removal of the soil, which has lost its density and been overwetted, and its replacement by another soil, with a subsequent compaction to a standart density. The second method involves the placement of a geotextile reinforcing interlayer under the road pavement. In this case the removal of soil is not required, and it is only needed to perform the soil compaction up to the maximum magnitude corresponding to its moisture content.

When applying the first method of improving the subgrade bearing capacity, the road pavement structures shown in Figure 8 can be constructed on the heaving section. When the second method is applied, the same structures can be used only with the reinforcing interlayer of geotexile of "Typar" type, grade 3857 additionally laid under them.

3.4. Design of the plastic foam layer thickness

Initial data necessary for the design are as follows:

geographical location of the road section under consideration;

road pavement structure (name and thickness of layers) without a heat-insulating layer, which is required according to the strength and drainage conditions;

type of moistening the subgrade working layer (type 1, 2 or 3) and depth of the ground water occurrence from the road pavement bottom;

name of the subgrade soil.

The design of the heat-insulating layer (h_f), cm, is carried out in the following order:

1. The number of isoline that runs along the section considered is determined from the map (Fig 10). When the road section is between two isolines, the numbers of both of them are found.

2. Thermal resistance of the road pavement without a heat-insulating layer ($R_{p(o)}$ m^2·K/W) is computed:

$$R_{p(o)} = \sum_{i=1}^{i=n_p} h_{p(i)}/\lambda_{p(i)}, \qquad (2)$$

where n_p = number of structural layers of the road pavement without the heat-insulating layer; $h_{p(i)}$ = thickness of a separate layer, m; $\lambda_{p(i)}$ —coefficients of the heat-conductivity of separate layers in a frozen state.

The design should include actual measured values of $\lambda_p(i)$. In the absence of such data the tabulated values $\lambda_{p(i)}$ [2] may be used in the design. These values for some materials are given below: 1.74 W/(m·K) for cement concrete; 1.40 W/(m·K) for dense asphalt concrete; 1.25 W/(m·K) for porous asphalt concrete; 1.86 W/(m·K) for crushed granite; 1.39 W/(m·K) for crushed limestone; 2.10 W/(m·K) for sand-gravel; 2.00 W/(m·K) for sand.

3. The soil heaving index, C_h, is determined from Table 2. The following soils are referred to the medium heaving ones: sandy loam, light sandy clay loam, heavy sandy clay loam, clay.

The highly heaving soils are as follows: silty sand, silty sandy loam, heavy silty loam. The extremely heaving soils are as follows: silty sandy loam with a sand particle content at least 20 % by weight and light silty loam.

When dealing with soils of specific types and needing a higher accuracy, the heaving index should be determined from the results of soil test in compliance with GOST 28622—90.

4. The coefficient C_p that takes into account the influence of the weight of the road pavement and subgrade frozen courses on the soil heave value is assessed.This coefficient is found from Table 3 regarding a thickness of the road pavement (h_p, m) and an allowable freezing depth of the subgrade ($h_{fr(all)}$, cm).

When values of the road pavement thickness are lower or higher than those given in Table 3, the value of C_p should be established by interpolating between appropriate values.

At first, one should assume the value of C_p that corresponds to an allowable freezing depth of the subgrade in a range of 0 to 50 (100).

The value of coefficient K_m must be reduced by 5 % if the road is located in south subzone II of the road — climatic zone, by 10 % if the road is located in road — climatic zone III and by 15 % if the road is located in road — climatic zone IV [1].

5. Using Table 4, the following coefficient values are found:

K_p = coefficient taking account of the road pavement service life;

K_m = coefficient considering the type of moistening the subgrade working layer.

6. The required thermal resistance of the road pavement ($R_{p(req)}$, $m^2 \cdot K/W$) is determined from the nomogram (Fig. 11). Proceed as follows:

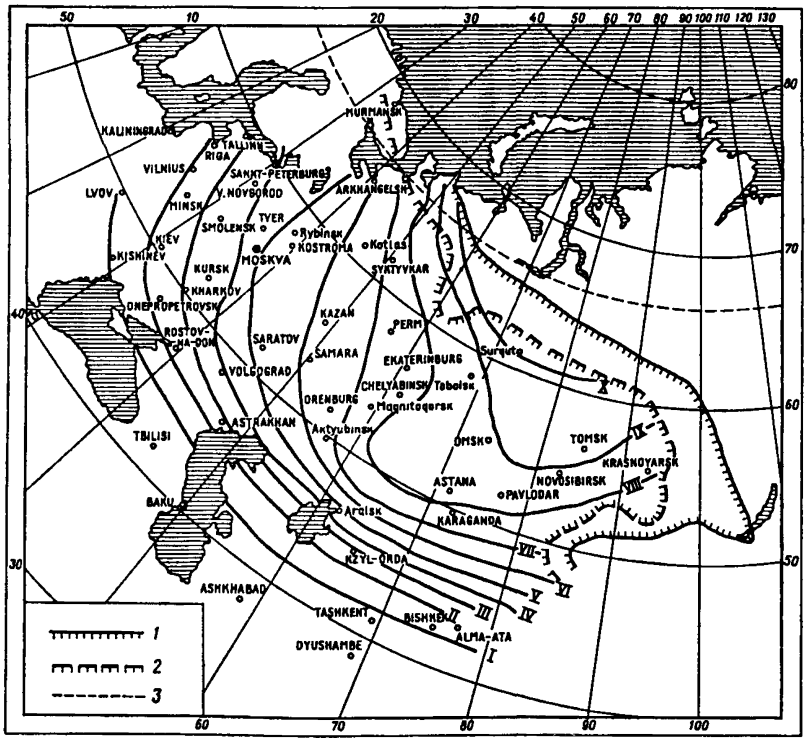


Fig. 10. Map with isolines for determining the required values for thermal resistance of road pavement:

1-X — numbers of isolines; *1* — boundary of the continuous occurrence of perennially frozen soils; *2* — ditto. of the insular occurrence (up to 25 m in depth); *3* — Arctic Circle

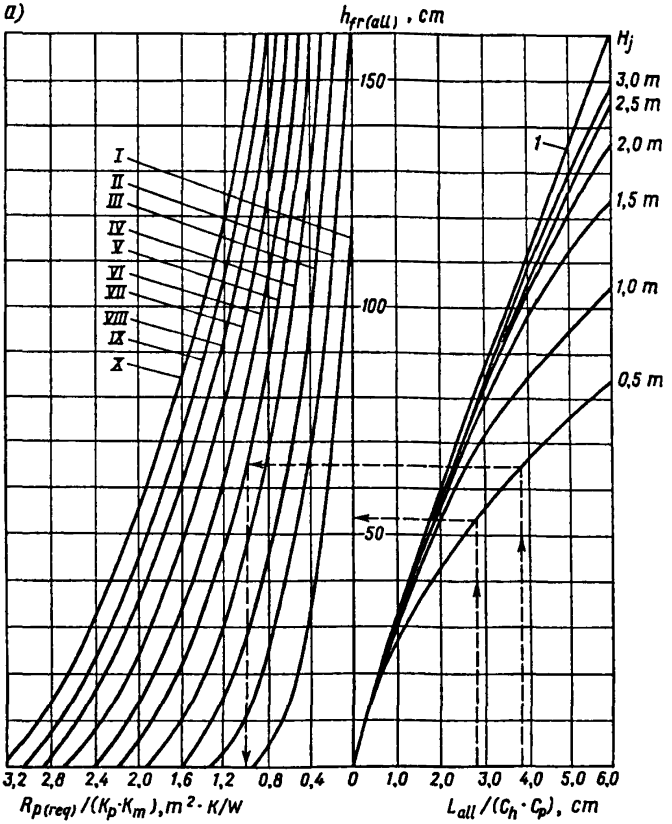
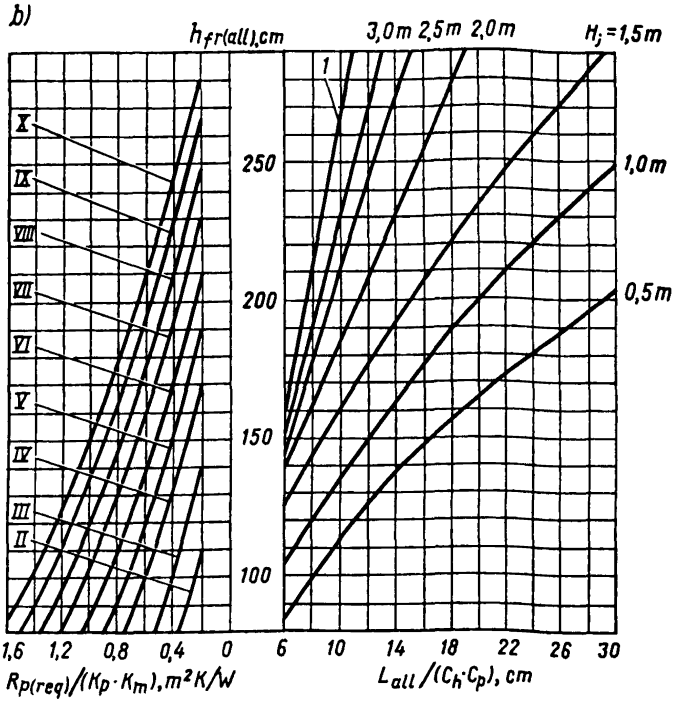


Fig. 11. Nomogram for determining the required thermal resistance of road pavement
I- X — isoline numbers on the map (Fig. 10); *I* — design curve for types 1

compute the value of $L_{all}/(C_h\ C_p)$;

determine the value of $h_{fr(all)}$ from the nomogram depending on $L_{all}/(C_h\ C_p)$, type of moistening the subgrade working layer, and depth of ground water occurrence, (H_λ, m) from the road pavement bottom;

define more exactly the value of C_p depending on $h_{fr(all)}$ using Table 3;



*R*p(req) at $L_a/(C_h \cdot C_p)$ equal to 0 to 6 cm and from 6 to 30 cm:
and 2 of moistening the subgrade working layer

estimate again the value of $L_{all}/(C_h\ C_p)$;

determine the value of $R_{p(req)}/(K_p\ K_m)$ from the nomogram depending on $L_{all}/(C_h\ C_p)$, type of moistening the subgrade working layer, and depth of ground water level (H_λ) from the road pavement bottom as well as the number of the isoline on the map (Fig. 10) that goes through the road section considered;

Table 2

Values of Ch for soils		
Medium heaving	Highly heaving	Extremely heaving
1.0	1.5	2.0

Table 3

Soil	Values of coefficient C_p depending on the road pavement thickness (h_p, m) and allowable depth of subgrade freezing ($h_{fr\,(all)}$, cm								
	h_p = 0,5			h_p = 1,0		hp = 1,5		h_p = 2,0	
	$h_{fr\,(all)}$			$h_{r\,(all)}$		$h_{fr\,(all)}$		$h_{fr\,(all)}$	
	0–50	51–100	>100	0–100	>100	0–100	>100	0–100	>100
Siltysand	0.60	0.55	0.50	0.50	0.45	0.45	0.40	0.40	0.35
Light sandy loam	0.70	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55	0.50	0.50	0.45
Silty sandy loam	0.75	0.70	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55	0.55	0.50
Light sandy clay loam, Light silty clay loam	0.80	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60	0.60	0.55
Heavy sandy clay loam, Heavy silty clay loam, Clay	0.85	0.80	0.75	0.75	0.70	0.70	0.65	0.65	0.60

Table 4

Isoline nunber on the map (see Fig. 10)	Values of coefficient Kp for road pavement service life between major repairs			Values of coefficients Km for the type of moistening the subgrade working layer	
	Less than 10 yers	10years	20 years	type 1	types 2 and 3
I	0.70	0.85	1.0	085	1.0
II	0.70	0.85	1.0	0.65	1.0
III	0.80	0.90	1.0	0.55	1.0
1V	0.80	0.90	1.0	0.45	1,0
V	0.80	0.90	1.0	0.40	1.0
VI	0.80	0.90	1.0	0.35	1.0
VII	0.80	0.90	1.0	0.30	1.0
VIII	0.80	0.90	1.0	0.30	1.0
IX	0.80	0.90	1.0	0.25	1.0
X	0.80	0.90	1.0	0.25	1.0

introduce the value of the coefficients of K_p and K_m into expression $R_{p(req)}/(K_p\ K_m)$ and calculate the desired value of $R_{p(req)}$.

If the depth of ground water occurrence on the road section differs from the depth shown on the nomogram, it is necessary to determine two values of R_p (req.): when the value of H_γ on the nomogram is higher than the depth of ground water occurrence on the mentioned road section and when it is lower than the depth of ground water occurrence. The required value of R_p (req.) is determined by interpolation between relevant values.

7. The requred thickness of the plastic foam layer (h_f, cm) is found from the plot in Figure 12 depending on $R_{p(0)}$ and $R_{p(req)}$.

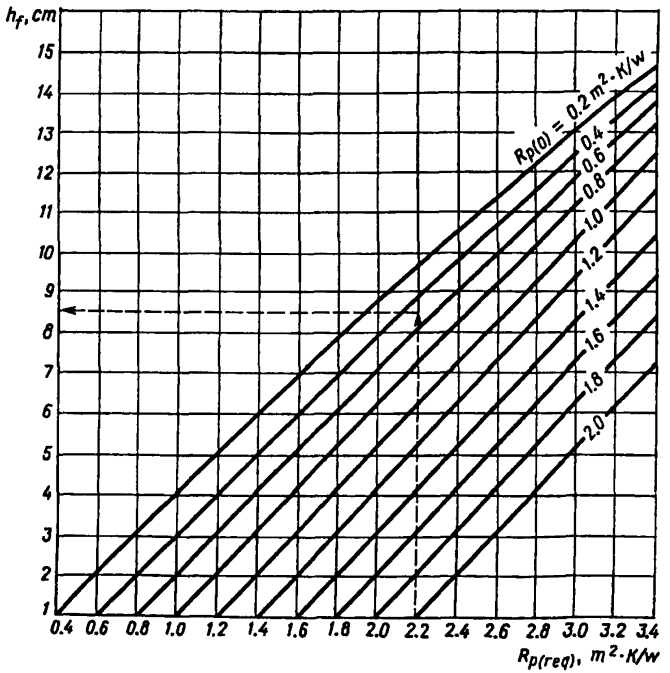


Fig. 12. Plot for determining the required thickness of the Styrofoam layer:
$R_{p(req)}$ — required thermal resistance of road pavement: $R_{p(0)}$ — thermal resistance of road pavement without the plastic foam layer

When the section under consideration is between the isolines on the map (Fig. 10), two values of hf corresponding to these isolines are evaluated. The desired thickness of the heat-insulating layer is established by the interpolation method in dependence on the distance from the section examined to one of the isolines.

3.5. Computation of the soil heave value

To compute by formula 1 the transition zone including the plastic foam layer of variable thickness, it is necessary to know the value of soil heave ($h_{fr}(0)$ on the sound road section. This value is found from the nomogram in Figure 11.

As compared to the above described in item 3.4, in this case one solves the reverse problem. The desired value is $L_{all} = h_{h(0)}$ at the known value of $R_{p(req)}$ that is equal to the thermal resistance of the sound section of the road pavement.

4. Structures for permafrost regions

4.1. Design principles

In the regions of perenially frozen soils, roads are built with heat-insulating layers of plastic foam in order to provide the subgrade strength and stability. This is achieved through maintaining soils of the natural foundation in a hard-frozen state (structures of type 1); ditto plus maintaining the embankment soils in a hard frozen state (structures of type 2).

One of the conditions for ensuring such state of soils is the construction of subgrade in winter when the embankment foundation is frozen to a depth of more than 30 cm. Another condition is the installation of the heat-insulating layer of plastic foam that protects soils against thawing during the period of road life. This period is usually about 30 years.

To retain soils in a hard-frozen state during the above period, the warmest year of frequency once for 30 years should be assumed as the design one. To determine this year, it is required to find a sum of positive degree-days, a sum of negative degree-days and their resulting value for each year during a period of at least 30 years. From these data the desired warmest year is established.

The thickness of the plastic foam layer, needed to retain soils in a hardfrozen state, is estimated through a heat-engineering computation.

The computation includes average monthly air temperatures that occurred in the warmest year. The same is performed for the average year of multi-year period. The computation is done in two stages. At first, temperatures in the road structure are established for the average year of the multi-year period. Then temperatures are determined for the warmest year of frequency once for 30 years. In this case, the data obtained for the average year of the multi-year period are assumed as initial temperatures in the road structure. When computing the temperature in the structure, consideration should be given to the temperature data for the natural foundation soil at a depth of not less than 10 m from the ground surface.

In order to evaluate the temperature on the carriageway and shoulder pavement surface as well as on the slope and right-of-way surface, the data on solar radiation, wind velocity, and snow cover height and density are introduced into computation.

4.2. Types of structures

The road design is performed on the basis of the main types of the road structures presented in Figure 13. The choice of a structure is made with regard for an embankment height and soil compaction conditions. The structure of type 3 is applied when the embankment height (along the carrigeway axis) is equal to the road pavement tthickness. In case of a higher embankmennt, but not higher than 2 m, the structures of types 1 and 2 are used. The structures of type 4 are employed on the road sections passing through a datum level.

The structure of type 1 should be applied provided it is possible to compact the sand, which is used for the embankment construction, to a density at least 0.95 from the maximum one according to GOST 22733—90. With the structures of type 2, the sand density is not specified because this soil will be in a hard-frozen state during the whole period of road operation. Its density in the fill should be equal to the maximum one that can be reached when the sand is compacted in winter.

Figure 13 presents the dimensions of the road structure used on the Yamal peninsula [6]. On the carriageway of this road, the pavement of reinforced concrete slabs 0.14 m thick is laid over the base course of the sand-cement mixture (10 % of cement) 0.25 m thick. The shoulders are strengthened by the same sand-cement mixture. To provide the stability of the embankment slopes, the use is made of geotextile protective interlayers, with laying a moss-vegetative cover on the slope surface. In the structures of types 1 and 2, the embankment height along the subgrade edge is 1.55 m. The embankment gradients given in Figure 13 are the maximum admissible ones. The steeper slopes are impermissible while the flatter ones can be built.

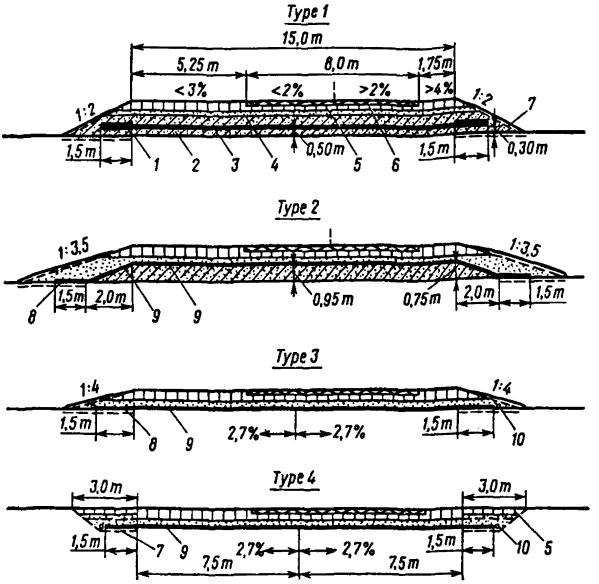


Fig. 13. Structures of road pavement and subgrade with heat-insulating layers of Styrofoam of Floormate 500 grade:
1 — plastic foam layer 8 cm thick; *2* — plastic foam layer 6 cm thick; *3* — silty sand; *4* — fine sand; *5* — sand-cement mix; *6* — reinforced concrete slab; *7* — geotextile; *8* — plastic foam layer 14 cm thick; *9* — plastic foam layer 13 cm thick; *10* — pipe drain

Site preparation (snow removal, felling and clearing operations, etc.) for the subgrade construction should be carried out in winter a little ahead of main earthworks. The lower courses of the embankment must be built by the method "from yourself" whereas the next layers — by the longitudinal method.

The heat-insulating layer should be constructed of boards with the edge of a stepped shape. Taking into consideration a probability of flooding the frozen part of the embankment in the structure of type 2 during the warm period of the year, it is necessary to prevent water infiltration into the soil through the joints between the boards. That is why the edges of the plastic foam boards should be of groove-and-tongue type. The plastic foam boards with the stepped edges are admissible to use with isolating the joints between them.

The plastic foam boards should be installed so as to provide their uniform resting on the surface of the sand course. In order to avoid the through joints, the boards must be laid in a staggered way. When two layers of the boards are installed, joints of the lower layer should be overlapped with the overlying boards. When installing, the boards should be connected to the base course by pins.

The work sequence in summer was as follows: additional compaction of fine sand, laying and compaction of the sand-cement mix course, and placement of the reinforced slabs (Fig. 13). Works performed in the warm period of time must be completed within not more than 2—3 months since the time when there occurs a transition of the average daily air temperature through 0 °C. Otherwise, the soils that must be in a frozen state can thaw.

4.3. Design of the plastic foam layer thickness

The computer program for the computation of heat-and mass-exchange of the road structure should take into consideration: a complex contour of the structure, the presence of different types of soils and materials, a considerable number of boundary conditions within the design area, phase transitions (latent heat releasing and absorption during freezing-thawing), thermal-and-physical properties of soils and materials.

The soil-frost conditions along the route of a road should be characterized by the following indices: total moisture content of the soil, density of the thawed and frozen soil, coefficients of thermal conductivity and volumetric thermal capacity of the thawed and frozen soils, and temperature of ice-formation.

The design includes the thermal-and-physical characteristics of the road pavement layers obtained from the data of field measurements on the road in the area considered. In the absence of such data, the tabulated values may be used in computation.

The required thickness of the plastic foam layer is found by the method of selection proceeding from the condition of retaining the soils in a hard-frozen state during the whole period of road service.

5. DESIGN OF THE FROST-PROTECTIVE LAYER REPLACED BY PLASTIC FOAM

The conventional solution for the road structure in the regions of seasonally frozen soils is its construction with the frost-protective layer. An alternative solution is to build the road pavement with the heat-insulating layer of plastic foam. To evaluate the efficiency of the use of such structure, it is necessary to know the thickness of the frost-protective layer replaced by plastic foam.

A comparison between the structure with the frost-protective layer and that with the heat-insulating one is possible under the observance of the conditions listed below. Both of these structures should meet the specifications as to strength, frost-resistance, and drainage. They both should have the same surfacing and base courses. The only difference between them is that one of the structures will include the frost-protective layer whereas the other — the heat-insulating one of plastic foam.

On the basis of the above conditions the thickness of the frost-protective layer replaced by plastic foam is determined as follows:

1. The frost protective layer thickness (h_{fp}, m) is given, and with taking it into account the road pavement thickness (hp., m) and the distance to the ground water level (H_{γ}, m) are determined.

2. The required value of the road pavement thermal resistance is assessed. The computation is performed in the same way as it is described in 3.4. The only difference is in the values of the soil heave index (C_h) that should be taken from Table 5.

Table 5

Isoline number in the map (see Fig. 10)	Values of C_h for soils:		
	medium Heaving	Highly heaving	Extremely heaving
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

As Table 5 shows, the values of C_h are dependent on the location of the road section under examination, which is connected with the influence of the freezing depth and rate on the soil heave. The higher the rate of freezing, the less water inflows from the thawed soil into the frozen one and the less is the soil heave.

3. A value of the thickness of the frost-protective layer replaced by plastic foam (h_{fp}, m) is estimated:

$$h_{fp} = (R_{p(req)} - R_{p(0)})\,\lambda_{fp}, \tag{3}$$

where $R_{p(req)}$ — required thermal resistance of the road pavement, $m^2 \cdot K/W$; $R_{p(0)}$ — thermal resistance of the road pavement without the frost-protective and heat-insulating layers, $m^2 \cdot K/W$; λ_{fp} — coefficient of thermal conductivity of the frost-protective layer equal to the arithmetical mean value of thermal conductivity coefficients of the layer material in thawed and frozen states W/(m·K).

4. One compares the value of h_{fp}, obtained on formula 3, with the prescribed value of h_{fp}. If the difference between these values does not exceed 5 cm, the design is completed. Otherwise a new value of h_{fp} must be given and the design repeated.

ENGINEERING CHARACTERISTICS OF PLASTIC FOAM

For building the road heat-insulating layers the plastic foam "Styrofoam" of FLOORMATE 500 grade is applied. Table 6 presents physical-and-mechanical properties of the plastic foam of this grade.

Dimensions of the plastic foam board: length — 1250 mm; width — 600 mm; thickness — 30, 40, 50, 60, 80, 100 mm. The edge shape is stepped.

The plastic foam is resistant to the action of sodium carbonate, calcium hydroxide, sodium chloride (common salt), organic matters (humus, sapropel), bacteria of natural origin.

When acids, alkali, organic fertilizers and other substances, not listed above, are present in the soil, it is required to evaluate the stability of the plastic foam individually for a particular composition and concentration of these matters.

Table 6

Parameters	Method of determination	Unit	Value
Initial density	*DIN*53420 / *GOST* 17177-87	Kg/m^3	38 / 40
Thermal conductivity at 10 °C	*DIN*52612 / *GOST* 7076-87	W/(m·K)	0.027 / 0.025
Thermal conductivity at 20 °C	GOST 7076-87	W/(m·K)	0.028
Water absorption	*DIN*53434 / *GOST* 17177-87	% by volume	0.20 / 0.45
Compression strength at 5 % deformation	GOST 17177-87	N/mm^2	0.51
Compression strength at 10 % deformation	DIN 53421	N/mm^2	0.50
Ultimate flexural strength	GOST 17177-87	N/mm^2	0.72
Modulus of elasticity	DIN 53421	N/mm^2	20
Capillarity	—	—	0
Fire resistance (flammability group)	GOST 3002	—	BI (highly fire-resistant)
Range of service temperatures	—	°C	–50 to +75

The plastic foam should be protected against the action of petroleum products (gasoline, kerosine, etc.), organic solvents (benzene, acetone, etc.). Laying "hot sand" or other heated materials treated with organic binders directly over the plastic foam is impermissible.

In case of the long-term outdoor storage (more than 5 days) the plastic foam boards should be kept from direct sunlight. It is not allowable to stack up the plastic foam boards near the open flame.

DESIGN EXAMPLES

1. It is required to determine the desired thickness of the plastic foam heat-insulating layer on the section of the road passing through the area of the city of Moscow under unfavourable soil-hydrological conditions. On this section, the ground water level is at a depth of 0.5 m from the ground surface. The soil of the natural foundation is light silty loam, which is referred to the extremely heaving soils. The subgrade is built from the same soil. The embankment height is 1.65 m.

Proceeding from the conditions of strength and drainage the road pavement structure should consist of: asphalt concrete surfacing 0.20 m thick (dense asphalt — 0.05 m; porous asphalt 0.15 m); crushed limestone base 0.30 m thick that includes the 0.20 m drainage course of medium-sized sand. The service life of the road pavement (service period between capital repairs) is 10 years.

Allowed value of heaving is 4 cm.

The thickness of the plastic foam layer is computed according to item3.4. From the map in Figure 10, the number of isoline that passes through the road section considered is V. From formula 2, $R_{p(0)}$ = 0.46 m^2·K/W. From Table 2, C_h = 2.0. From Table 3, C_p =0.76 for light silty loam at h_p = 0.7 and $h_{fr(all)}$ = 0–50 cm. From Table 4, K_p = 0.90 and K_m =0.95. From the nomogram in Figure 11, $h_{fr(all)}$ = 72 cm at $L_{all}/(C_hC_p)$ = 2.6 and H_λ = 1.45 m. From Table 3, C_p = 0.73 at h_p = 0.7 m and $h_{fr(all)}$ = 72 cm. From the nomogram in Figure 11, $R_{p(req)}$ = 0.81 m^2·K/W at $L_{all}/(C_hC_p)$ = 2.7,H_λ = 1,45 m, K_p = 0.90, K_m = 0.95.

From the plot in Figure 12, the desired thickness of the plastic foam layer h_f = =1.8 cm at $R_{p(0)}$ = 0.46 m^2·K/W and $R_{p(req)}$ = 0.81 m^2·K/W. Taking account of the minimum dimensions of the board (Appendix 1), the thickness of the plastic foam layer is assumed to be 3 cm.

2. It is required to determine the thickness of the frost-protective layer replaced by plastic foam for the above mentioned road in the vicinity of Moscow. The computation is performed according to item 5. The original data, excluding the value of C_h, are the same as above: $R_{p(0)}$ = 0.46 m^2·K/W, K_p = 0.90, K_m = 0.95. We are set by value h_{fp} = 0.95 m. Then h_p = 1.65 m, H_γ = 0.5 m. From Table 3, C_p = 0.64 m at h_p = 1.65 m and $hf_{r(all)}$ = 62 cm. From Table 5, C_h = 1.80. From the nomogram in Figure 11, $h_{fr(all)}$ = 62 cm at $L_{all}/(C_hC_p)$ = 3.5 and H_λ = 0.5 m. From the nomogram in Figure 11, $R_{p(req)}$ = 0.92 m^2·K/W at $L_{all}/(C_hC_p)$ = 3.5, H_λ = 0.5 m, K_p = 0.90, K_m = 0.95. From formula 3, h_{fp} = =0.92 m.

The calculation is finished since the difference between the prescribed values and the obtained ones is 3 cm, i. e. less than 5 cm. We obtain that the thickness of the frost protective layer replaced by plastic foam is 0.95 m.

REFERENCES

1. Construction Norms and Rules 2.05.02-85. Avtomobilnye dorogi. Moscow, TsITP Gosstroy USSR, 1986.

2. Manual for Design Methods, Control of the Water-and-Temperature Regime in the Upper Part of the Subgrade /to SNIP 2.05.02-85/ edited by V. I. Ruvinsky, M., Stroyizdat Publishers, 1989.

3. Ruvinsky V. I. Optimum Subgrade Structures. 2^{d} edition, revised and enlarged. M.: Transport Publishers, 1992.

4. Ruvinsky V. I. Efficiency of the Use of Plastic Foam "Styrofoam" in the Road Construction in Russia. M.: Transport Publishers, 1996.

5. Instructions on the Road Pavement Construction with the Styrofoam Heat-Insulating Layer in the City of Moscow. M.: Mosinzproekt, 1997.

6. Design Solution for the Road Pavement and Subgrade with the Styrofoam Heat-Insulating Layers on the Industrial Base — Administration Road on the Yamal Peninsula. Edited by V. I. Ruvinsky, Nadymgazprom, 1998.

РУВИНСКИЙ ВЛАДЛЕН ИЗОТОВИЧ

V. I. RUVINSKY

Пособие по устройству теплоизолирующих слоев из пенопласта Styrofoam на автомобильных дорогах России

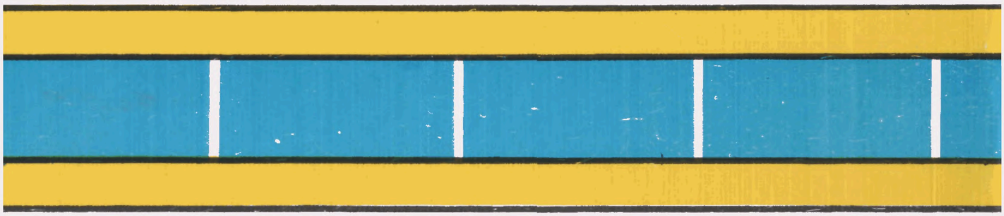
Manual for Construction of Styrofoam Heat-Insulating Layers on Roads in Russia

Обложка художника *С. Н. Орлова*
Технический редактор *Н. И. Горбачева*
Корректор *В. Т. Агеева*
Компьютерная верстка *И. А. Мочаловой*

Изд. лиц. № 010163 от 21.02.97. Сдано в набор 21.06.99. Подписано в печать 05.06.00.
Формат 60×88 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 4,41. Уч.-изд. л. 4,07. Тираж 5000 экз. Заказ 996. С 042.
Изд. № 3-3-1/4 № 6954.
Государственное унитарное предприятие ордена "Знак Почета"
издательство "Транспорт",
107078, Москва, Новая Басманная ул., д. 10

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

В Пособии указаны задачи, которые можно решать с помощью пенопласта Styrofoam производства фирмы Дау Кемикал Компани.
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.
Пособие разработано ведущим специалистом Российской Федерации в области водно-теплового режима земляного полотна и морозоустойчивости дорожной одежды, доктором технических наук Рувинским Владленом Изотовичем.



The Manual shows problems which can be solved by means of plastic foam "Styrofoam" produced by the Dow Chemical Company.
Road structures with the plastic foam heat-insulating layers in the regions of a seasonal freezing of soils and in those of ever frozen soils are presented.
The nomograms for determining the required trickness of the plastic foam layer and for designing the thickness of the frost-protective layer replaced by this plastic foam are represented.
The Manual has been worked out by Vladlen Izotovitch Ruvinsky, Dr. Sc., Leading specialist of Russian Federation in the field of the water-and-temperature regimes of subgrades and frost resistance of road pavements.

ISBN 5-277-02144-2

gost.e-ecolog.ru