МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА

Утверждены и.о.директора
Б.С.Марышевым

16.06.83

Одобрены Главтранспроектом
(письмо № 3002(13)1-24
от 14.X.83)

Москва 1983

gost.e-ecolog.ru

УДК 625 731.1.001.2:626.872.1

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА. Союздорнии. М., 1983.

Описаны способы регулирования водно-теплового режима земляного полотна: проектирование и устройство морозозащитных слоев из некондиционных песков, теплоизоляционных слоев, дренирующих, армирующих, капилляропрерывающих и гидроизолирующих прослоек.

Изложены требования к проектированию оптимальных конструкций земляного полотна из условия обеспечения прочности и морозоустойчивости дорожной одежды в районах с сезонным промерзанием грунтов.

Табл.3, рис.2.

© Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1983

УДК 625.731.1.001.2:626.872.1

Предисловие

Одна из основных задач дорожного строительства - снижение объема земляных работ на основе разработки оптимальной конструкции земляного полотна. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для решения этой задачи путем применения различных инженерных мероприятий по регулированию водно-теплового режима земляного полотна. Они разработаны для районов с сезонным промерзанием грунтов во II и III дорожно-климатических зонах.

При проектировании земляного полотна необходимо наряду с настоящим изданием использовать "Методические рекомендации по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983).

В настоящих "Методических рекомендациях" рассмотрены вопросы проектирования морозозащитных слоев из некондиционных песков, теплоизоляционных слоев из пенопласта, стиропорбетона на щебне из отходов жестких пенопластов и других материалов, капилляропрерывающих, дренирующих и армирующих прослоек из нетканых синтетических материалов, гидроизолирующих прослоек из полиэтиленовой пленки, стабилизированной сажей, из изола, а также из нетканых синтетических материалов, обработанных битумом. Изложены требования к проектированию оптимальных конструкций земляного полотна по условию обеспечения прочности и морозоустойчивости дорожной одежды, приведены примеры расчета.

Наблюдения на дорогах показали, что применение

упомянутых мероприятий по регулированию водно-теплового режима позволяет снизить объем земляных работ в результате уменьшения высоты насыпи и благодаря использованию местных некондиционных песков для устройства морозозащитных слоев без снижения прочности и морозоустойчивости дорожной одежды по сравнению с конструкциями с традиционным решением земляного полотна. Это, в свою очередь, позволяет уменьшить стоимость строительства, снизить трудовые затраты, обеспечить экономию топливно-энергетических ресурсов. Кроме того, рекомендуемые мероприятия по регулированию водно-теплового режима позволяют лучше сохранить ровность покрытия и тем самым снизить себестоимость перевозки грузов, повысить безопасность и комфортабельность движения.

"Методические рекомендации" разработаны в Союздорнии канд.техн.наук В.И.Рувинским с участием кандидатов технических наук М.Дуйшеналиева и Ю.А.Никонорова, инженеров В.И.Зубковой и С.В.Черняева.

Все замечания и пожелания по работе просим направлять по адресу: 143900, Московская обл., Балашиха-6, Союздорнии.

1. Общие положения

1.1. Настоящие "Методические рекомендации" предназначены для применения при проектировании автомобильных дорог в районах с сезонным промерзанием грунтов во II и III дорожно-климатических зонах.

1.2. Разработку конструкций земляного полотна следует начинать с установления высоты насыпи или глубины выемки по условиям рельефа местности, застройки территории, ценности сельскохозяйственных земель и обеспечения снегонезаносимости дороги. При установленных высоте насыпи или глубине выемки необходимо определить тип увлажнения земляного полотна согласно "Методическим рекомендациям по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983). Затем нужно разработать варианты мероприятий по регулированию водно-теплового режима, исходя из типа увлажнения земляного полотна с учетом грунтово-гидрологических и климатических условий, рельефа местности, наличия дорожно-строительных материалов и планируемых темпов строительства.

1.3. Мероприятия по регулированию водно-теплового режима земляного полотна[x)] предусматривают различные решения по защите земляного полотна в процессе строительства: отвод воды с обочин и их укрепление; осушение разделительной полосы и полосы отвода; устройство верхней части земляного полотна из непучинистых или слабопучинистых грунтов; устройство морозозащитных слоев, в том числе из некондиционных песков (песчаных грунтов); устройство теплоизоляцион-

---

x) Подробно эти мероприятия описаны в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна". М.: Транспорт, 1982.

ных слоев, дренирующих слоев и дренажей мелкого заложения, дренажей для понижения уровня грунтовых вод, армирующих, дренирующих, капилларопрерывающих и гидроизолирующих прослоек; улучшение зернового состава грунтов и обработку их вяжущим, а также повышение высоты насыпи по сравнению с высотой, запроектированной по условиям рельефа местности и снегонезаносимости дороги.

1.4. При выбранных мероприятиях по регулированию водно-теплового режима земляного полотна нужно запроектировать конструкцию дорожной одежды. Для этого следует рассчитать толщину дорожной одежды на земляном полотне, плотность которой равна требуемой плотности при постройке дороги, а влажность - полной капиллярной влагоемкости при этой плотности грунта. Расчет дорожной одежды на прочность следует проводить согласно "Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-72 (М.: Транспорт, 1973) При этом в расчет нужно включить прочностные и деформативные характеристики грунта, соответствующие указанным значениям его плотности и влажности.

При такой конструкции дорожной одежды следует установить значения плотности-влажности и пучения грунта, которые они будут иметь в расчетном году (т.е. расчетные значения плотности-влажности и пучения грунта). Прогнозировать эти величины необходимо в соответствии с "Методическими рекомендациями по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983) с учетом влияния выбранных мероприятий по регулированию водно-теплового режима согласно настоящим "Методическим рекомендациям". При величине пучения покрытия не более допустимой согласно настоящим "Методическим рекомендациям" нужно установить прочностные и дефор-

мативные характеристики грунта, соответствующие его расчетным значениям плотности и влажности, и уточнить по прочности конструкцию дорожной одежды. После этого следует вновь определить расчетное пучение и оценить морозоустойчивость дорожной одежды.

1.5. Для сравнения вариантов конструкций по приведенным затратам следует принимать только конструкции земляного полотна и дорожных одежд, которые удовлетворяют требованиям по прочности и морозоустойчивости.

В качестве оптимальной конструкции земляного полотна следует принимать вариант с минимальными за срок сравнения приведенными затратами, которые представляют собой сумму приведенных капитальных вложений в дорожное строительство, транспортных расходов и расходов на эксплуатацию дороги.

2. Проектирование и устройство морозозащитных слоев из некондиционных песков и теплоизоляционных слоев

2.1. Проектировать морозозащитные слои следует без учета и с учетом пучения используемых материалов. Применительно к такой схеме различают кондиционные и некондиционные пески, содержащие меньше 75% частиц крупнее 0,1 мм, больше 5% (по массе) частиц мельче 0,05 мм, имеющих коэффициент фильтрации при наибольшей плотности по методу стандартного уплотнения ниже 1 м/сут.

Толщину морозозащитного слоя из некондиционных песков проектируют так, чтобы обеспечить морозоустойчивость дорожной одежды (п.4.1) благодаря замене глинистых грунтов менее пучинистыми некондиционными песками. Величину пучения глинистых грунтов и некондиционных песков прогнозируют согласно "Методическим рекомендациям по расчету водно-теплового ре-

жима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983). Толщина морозозащитного слоя должна быть не менее величины, при которой в порах этого слоя может разместиться поступающая вода, не снижая прочность дорожной одежды (п.2.4).

В морозозащитных слоях из некондиционных песков в весенний период может длительное время находиться вода, поэтому при расчете дорожной одежды на прочность нужно вводить понижающий коэффициент к значениям прочностных и деформационных характеристик песка. В первом приближении величину этого коэффициента можно принимать равной 0,8.

В процессе строительства и эксплуатации дороги возможно взаимопроникновение глинистых грунтов земляного полотна и песков морозозащитного слоя. В связи с этим необходимо предусматривать утолщение морозозащитного слоя на 5-15 см в зависимости от влажности и плотности глинистых грунтов и зернового состава грунта (меньшее значение относится к мелкозернистым пескам).

При укладке между песчаными и глинистыми грунтами прослоек из нетканых синтетических материалов заиления песков не происходит и не требуется дополнительно увеличивать толщину морозозащитного слоя.

Толщину морозозащитного слоя следует рассчитывать по трем расчетным схемам в зависимости от источников поступления воды в этот слой.

Первую схему применяют при увлажнении песков морозозащитного слоя только атмосферными осадками; вторую - при поступлении в этот слой поверхностных и грунтовых вод, верховодки; третью - при горизонте грунтовых вод и верховодки выше отметки низа морозозащитного слоя.

2.2. Толщину морозозащитного слоя определяют по

первой расчетной схеме в следующем порядке. Вначале задаются толщиной морозозащитного слоя не менее 0,2 м и при этой величине определяют среднюю влажность песка $W_{мз}$ (доли единицы) перед его промерзанием в расчетный период. Расчет проводят по формуле

$$W_{мз}=\left[\frac{\left(q'_{атм(пр.ч)}+q''_{атм(пр.ч)}\right)б+\left(q'_{атм(об)}+q''_{атм(об)}\right)2а-H'_{исп(отк)}2S_{мз}}{б+2а}-q'_{отт(гр)}\right]\times$$

$$\times\frac{\rho_в}{K_o\rho_{max}h_{мз}}+W_{опт}\ , \qquad (1)$$

где $q'_{атм(пр.ч)}$, $q''_{атм(пр.ч)}$ – приток воды в морозозащитный слой от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность проезжей части, соответственно в осенний период влагонакопления + часть зимы до устойчивого промерзания грунта и в период зимних оттепелей, м^3 на 1 м^2 дороги;

$q'_{атм(об)}$, $q''_{атм(об)}$ – приток воды в морозозащитный слой от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обочин, и от стока воды с проезжей части на обочину соответственно в осенний период влагонакопления + часть зимы до устойчивого промерзания грунта и в период зимних оттепелей, м^3 на 1 м^2 дороги;

$б$ – ширина проезжей части, м;

$а$ – ширина обочины, м;

$H_{исп(отк)}$ – количество воды, испаряющейся из морозозащитного слоя через откосы земляного полотна в осенний период влагонакопления + часть зимы до устойчивого промерзания грунта, м^3 на 1 м^2 откоса;

$S_{мз}$ – протяженность морозозащитного слоя по высоте откоса земляного полотна, м;

$q'_{отт(гр)}$ – отток воды из морозозащитного слоя в нижележащий глинистый грунт (средневзвешенное значение по ширине земляного полотна) в осенний период влагонакопления + часть зимы до промерзания песка упомянутого слоя, м^3 на 1 м^2 дороги;

$\rho_в$ – плотность воды, кг/м^3;

ρ_{max} – наибольшая плотность скелета песка при оптимальной влажности, установленная по методу стандартного уплотнения, кг/м^3;

K_o – требуемый нормативный коэффициент уплотнения песка, безразмерная величина;

$h_{мз}$ – толщина морозозащитного слоя из песка, м;

$W_{опт}$ – оптимальная влажность песка, доли единицы.

При этом величина влажности, вычисленная по формуле (1), не должна превышать определенных значений, а именно при $h_{мз} \leq q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ величина $W_{мз} \leq W_{кв}$; при $h_{мз} > q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ величина $W_{мз} \leq W_{пв} - q_{ср(п)}(W_{пв} - W_{кв})/(\rho_в g h_{мз})$, где $q_{ср(п)}$ – среднеарифметическое значение удельных движущих сил менисков, гПа, песка морозозащитного слоя, g – ускорение свободного падения, м/с^2, $W_{кв}$ – полная капиллярная влагоемкость песка, доли единицы, $W_{пв}$ – полная влагоемкость песка, доли единицы.

Значения $W_{кв}$ и $W_{пв}$ устанавливают при требуемой нормативной плотности песка. Величины $q'_{атм(пр.ч)}$, $q''_{атм(пр.ч)}$, $q'_{атм(об)}$, $q''_{атм(об)}$, $H'_{исп(отк)}$ и $q'_{отт(гр)}$ следует вычислять согласно "Методическим рекомендациям по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог".

Значения удельных движущих сил менисков песка устанавливают экспериментально или принимают равными табличным величинам, приведенным в указанных выше "Методических рекомендациях". При этом следует иметь в виду, что величина $q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ равна средней высоте капиллярного поднятия воды в песке, м

Для морозозащитного слоя, устраиваемого только в пределах проезжей части с трубчатыми дренами под краевыми полосами, расчет по формуле (1) проводят

при $a=0$ и $S_{мз}=0$. В расчет дополнительно вводят величину оттока воды из морозозащитного слоя по трубчатым дренам. При ориентировочных расчетах можно не учитывать отток воды из морозозащитного слоя по трубчатым дренам. Следует иметь в виду, что эти дрены не только отводят часть воды из морозозащитного слоя, но и позволяют перехватить и отвести воду, поступающую в этот слой со стороны обочин.

Следующим этапом расчета является установление эпюры влажности песка перед промерзанием морозозащитного слоя. При $h_{мз} \leq q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ влажность песка в верхней части $\Delta h^{II}_{мз(1)}$ [x)] морозозащитного слоя равна $W_{опт}$, в нижней части $\Delta h^{II}_{мз(2)}$ – величине $W_{к.в}$. Расчет толщин указанных частей морозозащитного слоя, м, проводят по формулам:

$$\Delta h^{II}_{мз(1)} = \left(\frac{W_{к.в} - W_{мз}}{W_{к.в} - W_{опт}}\right) h_{мз}; \qquad (2)$$

$$\Delta h^{II}_{мз(2)} = \left(\frac{W_{мз} - W_{опт}}{W_{к.в} - W_{опт}}\right) h_{мз}. \qquad (3)$$

При $h_{мз} > q_{ср(п)}/(\rho_в g)$

и $\left(\frac{W_{мз} - W_{опт}}{W_{к.в} - W_{опт}}\right) h_{мз} \leq q_{ср(п)}/(\rho_в g)$

эпюру влажности песка рассчитывают аналогичным образом.

При $h_{мз} > q_{ср(п)}/(\rho_в g)$

и $\left(\frac{W_{мз} - W_{опт}}{W_{к.в} - W_{опт}}\right) h_{мз} > q_{ср(п)}/(\rho_в g)$

---

x) Римские цифры II и III обозначают, что эпюра влажности песка перед промерзанием состоит соответственно из двух и трех частей с влажностью, равной $W_{опт}, W_{к.в}$ и $W_{п.в}$.

влажность песка в верхней части $\Delta h^{III}_{мз(1)}$ морозозащитного слоя равна $W_{опт}$, в средней части $\Delta h^{III}_{мз(2)}$ – величине $W_{к.в}$, а в нижней части $\Delta h^{III}_{мз(3)}$ – величине $W_{н.в}$.

Расчет толщин указанных частей морозозащитного слоя, м, проводят по формулам:

$$\Delta h^{III}_{мз(1)} = h_{мз} - \left(\Delta h^{III}_{мз(2)} + \Delta h^{III}_{мз(3)}\right); \qquad (4)$$

$$\Delta h^{III}_{мз(2)} = q_{ср(п)} / (\rho_в g); \qquad (5)$$

$$\Delta h^{III}_{мз(3)} = \left(\frac{W_{мз} - W_{опт}}{W_{н.в} - W_{опт}}\right) h_{мз} - \left(\frac{W_{к.в} - W_{опт}}{W_{н.в} - W_{опт}}\right) \cdot \frac{q_{ср(п)}}{\rho_в g} . \qquad (6)$$

Затем нужно определить величину пучения песка с учетом того, что в зону промерзания песка поступает только вода, находящаяся в морозозащитном слое.

При влажности песка перед промерзанием, равной величине $W_{опт}$ в верхней части и равной величине $W_{к.в}$ в нижней части морозозащитного слоя, расчет проводят по формулам:

$$K_{з(2)} = \frac{K_0}{1 + \frac{h_{пуч(0)} K_V}{h_{мз}}}; \qquad (7)$$

$$W_{з(2)} = \frac{(\rho_{гр} - K_{з(2)} \rho_{max}) \rho_в}{1{,}09\, K_{з(2)} \rho_{max} \rho_{гр}}; \qquad (8)$$

$$\Delta h^{II}_{зп(2)} = \left(\frac{W_{к.в} - W_{опт}}{W_{з(2)} - W_{опт}}\right) \Delta h^{II}_{мз(2)}; \qquad (9)$$

$$h_{пуч(мз)} = \frac{h_{пуч(0)}}{h_{мз}} \left[0{,}05 \left(h_{мз} - \Delta h^{II}_{зп(2)}\right) + K_V \Delta h^{II}_{зп(2)}\right], \qquad (10)$$

где $K_{з(2)}$ – коэффициент уплотнения песка после промерзания в слое толщиной $\Delta h_{зп(2)}$, безразмерная величина;

$h_{пуч(о)}$ – величина пучения водонасыщенного песка морозозащитного слоя, м;

K_v – поправочный коэффициент, учитывающий при расчете пучения фактическую влажность песка перед промерзанием, безразмерная величина;

$W_{з(2)}$ – влажность песка после промерзания в слое толщиной $\Delta h_{зп(2)}$, доли единицы;

$\rho_{гр}$ – плотность частиц грунта, кг/м^3;

$\Delta h_{зп(2)}$ – толщина слоя песка, м, в котором влажность после промерзания увеличивается по сравнению с начальной, равной $W_{к.в}$;

$h_{пуч(мз)}$ – величина пучения песка морозозащитного слоя, м.

Величины $h_{пуч(о)}$ и K_v определяют согласно упомянутым выше "Методическим рекомендациям по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильной дороги".

При влажности песка перед промерзанием, равной $W_{опт}$ в верхней части, $W_{к.в}$ в средней части и $W_{п.в}$ в нижней части морозозащитного слоя, искомую величину пучения устанавливают в следующем порядке:

при $\left(\frac{W_{к.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(2)}+\left(\frac{W_{п.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(3)}<\Delta h^{III}_{мз(2)}$

пучение вычисляют по формуле (10), заменяя в ней величину $\Delta h^{II}_{зп(2)}$ на $\Delta h^{III}_{зп(2)}$, которую устанавливают по выражению

$$\Delta h^{III}_{зп(2)}=\left(\frac{W_{к.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(2)}+\left(\frac{W_{п.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(3)}; \qquad (11)$$

при $\left(\frac{W_{к.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(2)}+\left(\frac{W_{п.в}-W_{опт}}{W_{з(2)}-W_{опт}}\right)\Delta h^{III}_{мз(3)}\geq\Delta h^{III}_{мз(2)}$

величину пучения вычисляют по формуле

$$h_{пуч(мз)} = \frac{h_{пуч(п)}}{h_{мз}} \left[0{,}05 \left(\Delta h^{III}_{мз(1)} + \Delta h^{III}_{мз(3)} - \Delta h^{III}_{зп(3)} \right) + K_v \Delta h^{III}_{мз(2)} + \Delta h^{III}_{зп(3)} \right], \quad (12)$$

где $\Delta h_{зп(3)}$ – толщина слоя песка, м, в котором влажность после промерзания увеличивается по сравнению с начальной, равной $W_{пв}$.

При этом величину $\Delta h^{III}_{зп(3)}$ устанавливают по выражению

$$\Delta h^{III}_{зп(3)} = \left(\frac{W_{пв} - W_{опт}}{W_{з(3)} - W_{опт}} \right) \Delta h^{III}_{мз(3)} - \left(\frac{W_{з(2)} - W_{кв}}{W_{з(3)} - W_{опт}} \right) \Delta h^{III}_{мз(2)}, \quad (13)$$

где $W_{з(3)}$ – влажность песка после промерзания в слое толщиной $\Delta h_{зп(3)}$, доли единицы.

Влажность $W_{з(3)}$ вычисляют по формуле (8), заменяя в ней величину $K_{з(2)}$ на $K_{з(3)}$, которую устанавливают по выражению (7), принимая $K_v = 1$.

2.3. Величину пучения по второй расчетной схеме прогнозируют при условии расположения низа морозозащитного слоя в зоне капиллярной каймы над расчетным горизонтом поверхностных или грунтовых вод и верховодки перед промерзанием земляного полотна.

При расстоянии от низа морозозащитного слоя до горизонта упомянутых вод более величины $q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ расчет пучения некондиционных песков проводят аналогично изложенному выше.

При расстоянии от низа морозозащитного слоя до горизонта поверхностных или грунтовых вод и верховодки менее величины $q_{ср(п)}/(\rho_в g)$ пучение некондиционных песков рассчитывают следующим образом. Вначале задаются толщиной морозозащитного слоя не менее 0,2 м и при этой величине определяют по формуле (1) среднюю влажность песка перед его промерзанием в расчетный период. В расчет дополнительно включают

величину притока капиллярной воды в морозозащитный слой $q_{пр(гр)}$, м^3 на 1 м^2 дороги, устанавливаемую по формуле

$$q_{пр(гр)}=\left(\frac{q_{ср(п)}}{\rho_в g}-H_{мз}\right)\frac{(W_{кв}-W_{опт})K_o\rho_{max}}{\rho_в}, \qquad (14)$$

где $H_{мз}$ – расстояние от низа морозозащитного слоя до горизонта поверхностных или грунтовых вод и верховодки, м.

При расчете по формуле (1) принимают $q'_{отт(гр)}=0$.

Затем устанавливают по формулам (2)-(6) эпюру влажности песка перед промерзанием морозозащитного слоя и вычисляют величину пучения песка.

При влажности песка, равной $W_{опт}$ в верхней части и $W_{кв}$ – в нижней части морозозащитного слоя, пучение рассчитывают по формуле

$$h_{пуч(мз)}=\frac{h_{пуч(о)}}{h_{мз}}\left(0{,}05\Delta h^{\overline{I}}_{мз(1)}+K_v\Delta h^{\overline{II}}_{мз(2)}\right). \qquad (15)$$

При влажности песка, равной $W_{опт}$ в верхней части, $W_{к.в}$ в средней части и $W_{п.в}$ в нижней части морозозащитного слоя, расчет $h_{пуч(мз)}$ проводят по формуле

$$h_{пуч(мз)}=\frac{h_{пуч(о)}}{h_{мз}}\left(0{,}05\Delta h^{\overline{II}}_{мз(1)}+K_v\Delta h^{\overline{III}}_{мз(2)}+\Delta h^{\overline{III}}_{мз(3)}\right). \qquad (16)$$

Величину пучения по третьей расчетной схеме прогнозируют при условии, что грунтовые воды или верховодка находятся в пределах морозозащитного слоя.

В этом случае влажность песка в верхней части морозозащитного слоя $\Delta h^{\overline{II}}_{мз(1)}=W_{опт}$, в средней части $\Delta h^{\overline{II}}_{мз(2)}=W_{к.в}$, а в нижней части $\Delta h^{\overline{II}}_{мз(3)}=W_{п.в}$.

Величины $\Delta h^{\overline{II}}_{мз(1)}$ $\Delta h^{\overline{III}}_{мз(2)}$ вычисляют по фор-

мулам (4) и (5), а толщину слоя песка $\Delta h^{\text{II}}_{\text{мз}\,(5)}$ принимают равной возвышению горизонта грунтовых вод или верховодки над низом морозозащитного слоя.

Пучение некондиционных песков рассчитывают по формуле (16).

2.4. Наряду с расчетом толщины морозозащитного слоя по величине пучения песков следует проверять, достаточен ли объем незаполненных пор этого слоя для размещения в ней поступающей воды без снижения прочности дорожной одежды. Это условие обеспечивается при соблюдении неравенства

$$h_{мз} \geqslant h_{нас} + h_{зап}\ , \qquad (17)$$

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

$h_{зап}$ – дополнительная толщина слоя, при которой сдвиг в песке под действием транспортной нагрузки невозможен, но не менее 0,10–0,12 м для крупных песков, 0,14–0,15 м для песков средней крупности и 0,18–0,20 м для мелких песков.

В этом случае количество воды, которое может разместиться в свободных порах морозозащитного слоя при устройстве его на всю ширину земляного полотна $Q_{доп}$, м^3 на 1 м дороги, устанавливают по выражению

$$Q_{доп} = n\left[F_{мз}(1-\varphi_{зим}) - (B+2a)h_{зап}\varphi_к\right]\ell, \qquad (18)$$

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

$F_{мз}$ – площадь поперечного сечения песчаного слоя толщиной от низа каменной части одежды до подстилающего грунта в пределах всей ширины земляного полотна, м^2;

$\varphi_{зим}$ – коэффициент заполнения водой пор морозозащитного слоя перед началом расчетного периода, безразмерная величина;

$\varphi_к$ – коэффициент заполнения пор капиллярной водой в запасной (дополнительной) части морозозащитного слоя, безразмерная величина;

ℓ – длина участка дороги, м, $\ell = 1$ м.

Для морозозащитного слоя, устраиваемого только в пределах проезжей части, в расчет по формуле (18) вводится соответствующая этой конструкции площадь поперечного сечения песчаного слоя. При этом принимают $a = 0$.

Значение коэффициента $\varphi_{зим}$ определяют по формуле

$$\varphi_{зим} = \frac{W_{з(ср)}}{W_{п.б}}, \qquad (19)$$

где $W_{з(ср)}$ – средняя влажность песка морозозащитного слоя после промерзания, доли единицы.

При расчете толщины морозозащитного слоя по первой расчетной схеме принимают, что $W_{з(ср)} = W_{мз}$. Такое же равенство значений влажности песка до и после промерзания имеет место и при расчете по второй расчетной схеме в случае расположения низа морозозащитного слоя над горизонтом поверхностных или грунтовых вод и верховодки более величины $q_{ср(п)}/(\rho_б g)$.

При расчете толщины морозозащитного слоя по третьей расчетной схеме, а также и по второй в случае расположения упомянутого горизонта менее величины $q_{ср(п)}/(\rho_б g)$ среднюю влажность песка после промерзания устанавливают по формулам

$$W_{з(ср)} = \frac{W_{опт}\Delta h^{II}_{мз(1)} + W_{з(2)}\Delta h^{II}_{мз(2)}}{h_{мз}}; \qquad (20)$$

$$W_{з(ср)} = \frac{W_{опт}\Delta h^{III}_{мз(1)} + W_{з(2)}\Delta h^{III}_{мз(2)} + W_{з(3)}\Delta h^{III}_{мз(3)}}{h_{мз}}, \qquad (21)$$

Входящие в уравнения (20) и (21) величины влажности $W_{з(2)}$ и $W_{з(3)}$ вычисляют по формуле (8), внося в нее соответствующий коэффициент уплотнения песка после промерзания.

Значение коэффициента $\varphi_к$ определяют по формуле

$$\varphi_к = \frac{\left(h^{I}_{к(max)} + \ldots + h^{\bar{V}}_{к(max)}\right)\left(W_{кб} - W_{опт}\right)}{4 h_{зап}\left(W_{пб} - W_{опт}\right)}, \qquad (22)$$

где $h'_{к(max)}, h^{IV}_{к(max)}$ – максимальная высота поднятия капиллярной воды в морозозащитном слое по группам капилляров, м; $h_{к(max)} \leq h_{зап}$.

Расчетным периодом года для проверки выполнения указанного условия (17) является весна. В этот период происходит осадка оттаявших глинистых грунтов с отжатием воды в морозозащитный слой. К этому добавляется отжатие воды из переувлажненных грунтов под действием динамической нагрузки, имеет место и приток воды от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность дороги.

Количество воды $Q_{мз}$, м^3 на 1 м дороги, которое может поступить в весенний период в морозозащитный слой, устраиваемый на всю ширину земляного полотна, определяют по уравнению

$$Q_{мз} = \left[\left(q^{III}_{атм(пр.ч)} + q_{отж(пр.ч)} + q_{отж(р)}\right)b + \right. \\ \left. + \left(q^{III}_{атм(об)} + q_{отж(об)}\right)2a - H^{III}_{усп(отк)} 2 S_{мз}\right] l, \qquad (23)$$

где $q^{III}_{атм(пр.ч)}$ – приток воды в морозащитный слой от атмосферных осадков, выпадающих в весенний период на поверхность проезжей части, м^3 на 1 м^2 проезжей части;

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

$q_{отж(пр.ч)}, q_{отж(об)}$ – объем воды, поступающей в морозозащитный слой из лежащих под ним грунтов при их осадке при оттаивании, соответственно в пределах проезжей части и в пределах обочин, м^3 на 1 м^2 проезжей части или обочины;

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

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

Величины $q^{III}_{атм(прч)}$, $q^{III}_{атм(об)}$ и $H^{III}_{исп(отк)}$ следует вычислять согласно "Методическим рекомендациям по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог".

Количество воды, отжимаемой в морозозащитный слой, определяют по формулам:

$$q_{отж}=\left[K_з W_{расч}(h_{пр}+h_{пуч})-K_в W_в (h_{пр}+h_{пуч}-h_{осад})\right]\rho_{max}\bar{\omega}_{гр}/\rho_в \text{ *)}, \quad (24)$$

где $K_з$, $K_в$ – коэффициенты уплотнения глинистого грунта соответственно после его пучения зимой и после его осадки весной под морозозащитным слоем, безразмерные величины;

$W_{расч}$ – расчетная влажность глинистого грунта после его оттаивания под морозозащитным слоем, доли единицы;

$W_в$ – влажность грунта после его осадки в весенний период, доли единицы (см. формулу (57) упомянутых выше "Методических рекомендаций");

$h_{пр}$ – глубина промерзания земляного полотна от низа каменной части дорожной одежды, м;

$h_{пуч}$ – величина пучения глинистого грунта под морозозащитным слоем, м;

$h_{осад}$ – величина осадки глинистого грунта весной под морозозащитным слоем, м;

$\bar{\omega}_{гр}$ – площадь поперечного сечения грунта, $м^2$, $\bar{\omega}_{гр}=1$ $м^2$;

---

*) Формулу (24) следует применять при расчете величин $q_{отж(прч)}$ и $q_{отж(об)}$.

$$q_{отж(р)} = h_0 \bar{\omega}_{гр} (W_в - 0{,}75 W_т) K_в \rho_{max} / \rho_в \ , \qquad (25)$$

где h_0 – толщина слоя грунта, из которого вода отжимается в морозозащитный слой под действием динамической нагрузки, м;

$W_т$ – влажность грунта на границе текучести, доли единицы.

Величину h_0 устанавливают по формуле

$$h_0 = (3{,}5 - 4)D - h_{од} \ , \qquad (26)$$

где D – диаметр круга, равновеликого отпечатку колеса расчетного автомобиля, м;

$h_{од}$ – толщина дорожной одежды вместе с морозозащитным слоем.

Количество воды, которое может поступить в весенний период в морозозащитный слой, устраиваемый в пределах проезжей части, вычисляют по формуле (23) при $H^{w}_{исп(отк)} = 0$. При этом принимают, что $a = 0$. При такой конструкции морозозащитного слоя устраивают трубчатые дрены под краевыми полосами. В этом случае в расчет дополнительно вводят величину оттока воды из морозозащитного слоя по трубчатым дренам. При ориентировочных расчетах отток воды по этим дренам можно не учитывать.

2.5. Требования к песчаным грунтам для устройства морозозащитных слоев устанавливают на основе приведенных выше расчетов на морозоустойчивость и прочность дорожной одежды. Кроме того, коэффициент фильтрации песка должен быть таким, чтобы не происходило образования слоя воды под дорожной одеждой, а атмосферные осадки, поступающие через покрытие проезжей части в морозозащитный слой, полностью впитывались в тот же момент в поры песка этого слоя. Такие условия нужно обеспечивать в течение всего пе-

риода между капитальными ремонтами покрытия, в том числе и при максимальном заполнении пор песка водой весной расчетного года, учитывая также возможность уменьшения коэффициента фильтрации песка в процессе эксплуатации дороги. Этим требованиям обычно удовлетворяют пески с коэффициентом фильтрации 0,2-0,5 м/сут и более.

При толщине морозозащитного слоя, установленной по условию предохранения покрытия от недопустимого морозного пучения, больше толщины слоя, достаточной для размещения в порах песка поступающей в основание проезжей части воды, можно использовать пески с коэффициентом фильтрации 0,2 м/сут и более. В противном случае для устройства морозозащитного слоя нужно применять пески с коэффициентом фильтрации 0,5 м/сут и более.

При оценке песка в предполагаемом для разработки карьере должны быть отобраны как минимум 15 проб из каждых 500 $м^3$ песка, причем в каждой из этих проб зерновой состав должен быть таким, чтобы обеспечивались указанные выше требования. Для этого предварительно устанавливают соотношение между содержанием пыли и глины и коэффициентом пучения песка, между содержанием частиц различных фракций и коэффициентом фильтрации песка.

При устройстве морозозащитных слоев необходимо выполнять требования главы СНиП III-40-78 "Автомобильные дороги. Правила производства и приемки работ" с учетом соответствующих требований других глав СНиП, а также ГОСТов, относящихся к производству и приемке работ при строительстве автомобильных дорог.

2.6. Теплоизоляционные слои проектируют так, чтобы обеспечить морозоустойчивость дорожной одежды (см.п.4.1) и ее работу в упругой стадии (согласно

ВСН 46-7_/. С помощью теплоизоляции можно умень - шить глубину промерзания земляного полотна и тем самым ограничить пучение допустимыми пределами или полностью предотвратить промерзание подстилающего грунта, исключить возможность его морозного пуче - ния. В свою очередь, уменьшение или исключение морозного пучения ограничивает или полностью устраняет разуплотнение грунтов в процессе эксплуатации дороги. Снижение глубины промерзания уменьшает также неравномерность морозного пучения и приводит к большей стабильности ровности покрытия.

Теплоизоляционный слой является нижним слоем основания дорожной одежды. При его проектировании следует учитывать, что ширина теплоизоляционного слоя должна быть больше ширины проезжей части на 0,5-2 м, чтобы изолировать последнюю от действия холода со стороны обочин.

Теплоизоляционные материалы изменяют температурный режим покрытия и могут вызвать гололедицу на проезжей части, поэтому место расположения теплоизоляционного слоя следует выбирать так, чтобы обеспечить идентичный режим дорожных одежд с теплоизоляционными слоями и без них. Теплоизоляционные слои из материалов с коэффициентом теплопроводности менее 0,05 Вт/(м·К) нужно располагать на глубине более 0,5 м от поверхности покрытия. В этом случае частота образования гололедицы на участке с теплоизоляционным слоем не превышает 10% по сравнению с участком, имеющим традиционную конструкцию дорожной одежды[x)].

2.7. Теплоизоляционные материалы должны сохранять свойства под воздействием влаги, температуры и агрессивных вод, быть биостойкими, обладать техноло-

---

x) По данным исследований М.Дуйшеналиева.

гичностью в работе и выдерживать нагрузки, возни - кающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев дорожной одежды.

Теплоизоляционные материалы должны быть доста - точно прочными. Теплоизоляционные слои из малопроч - ных материалов могут быть причиной снижения проч - ности дорожной одежды из-за сжимаемости самого теплоизоляционного материала и невозможности до - стичь требуемой степени уплотнения вышележащих сло - ев. При сжатии теплоизолятора его теплофизические свойства ухудшаются. Предел прочности пенопласта при 10%-ном сжатии не должен быть менее 0,29 МПа, а прочность при изгибе 0,59 МПа.

Теплоизоляционные слои можно устраивать из лег - ких бетонов, пористых каменных материалов, укрепле - ных вяжущими, укрепленных грунтов и золошлаковых смесей с легкими заполнителями, пористых полимер - ных теплоизоляционных материалов.

Теплоизоляционные материалы должны удовлетво - рять требованиям, предъявляемым к дорожно-строи - тельным материалам действующими ГОСТами, СНиПами и инструкциями.

При проектировании состава смесей и устройстве теплоизоляционных слоев следует использовать поло - жения "Методических рекомендаций по проектированию и устройству теплоизолирующих слоев на пучиноопас - ных участках автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1976) и "Методических рекомендаций по проектирова - нию и устройству на автомобильных дорогах конструк - тивных теплоизолирующих слоев из цементогрунтов с пористыми заполнителями" (Союздорнии. М., 1978).

3. Проектирование и устройство дренирующих, армирующих, капилляропрерывающих и гидроизолирующих прослоек

3.1. При разработке конструкций земляного полотна следует предусматривать варианты регулирования водно-теплового режима с применением дренирующих, армирующих, капилляропрерывающих и гидроизолирующих прослоек.

Дренирующая прослойка предназначена для ограничения притока атмосферных осадков в грунт и для отвода воды, отжимаемой из грунта при его осадке после оттаивания и под действием динамической нагрузки, армирующая - для уменьшения неравномерного пучения грунтов, капилляропрерывающая - для уменьшения поступления капиллярной воды в верхнюю часть земляного полотна от грунтовых вод, а гидроизолирующая - для изоляции грунта от всех видов влаги.

Экономические показатели применения прослоек улучшаются при совмещении функций дренирования и армирования земляного полотна. В этом случае в качестве армирующей прослойки следует применять материалы, обладающие одновременно дренирующими свойствами.

Дренирующую прослойку, совмещенную с армирующей (рис. 1,а), укладывают непосредственно под дорожной одеждой с выпуском полотнищ на откосы или в дренаж на 0,5-1 м.

Капилляропрерывающую прослойку (рис. 1,б) следует устраивать на глубине не менее 1,2 м от верха покрытия при условии, что прослойка возвышается над расчетным уровнем грунтовых или поверхностных вод, а полотнища выводятся на откосы или в дренаж. Для большей надежности конструкции возвышение над уровнем грунтовых вод следует принимать не менее 0,1 м

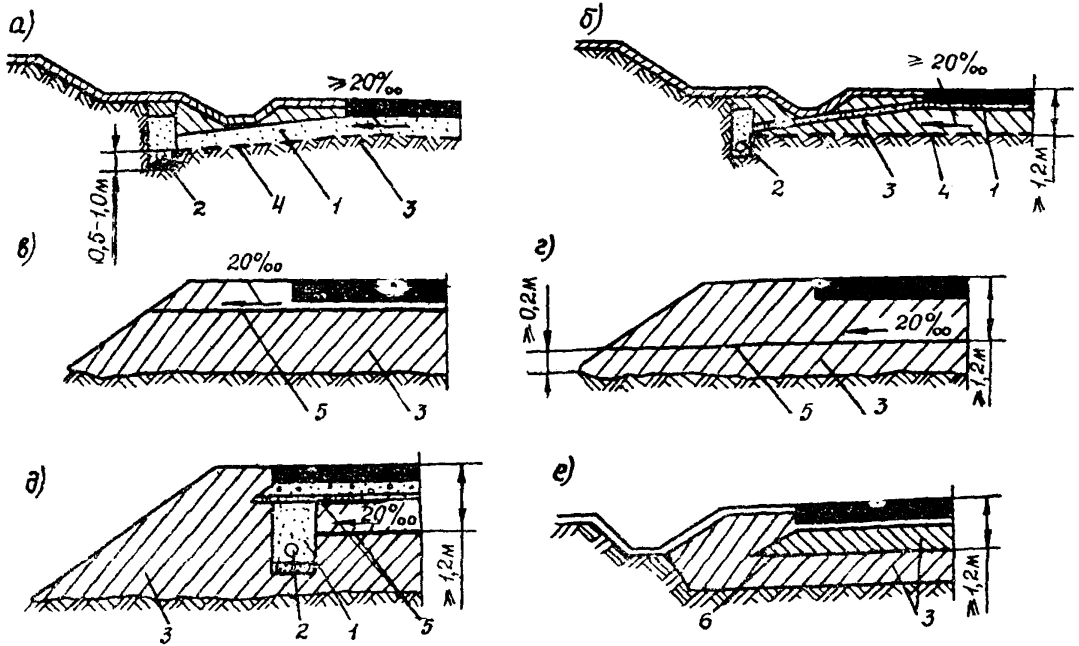

Рис.1. Конструкции земляного полотна с дренирующими, армирующими, капилляропрерывающими и гидроизолирующими прослойками: а-с совмещенной дренирующей и армирующей прослойкой; б-с капилляропрерывающей прослойкой; в,г,д,е-с гидроизолирующими прослойками; 1-песок; 2-трубчатый дренаж; 3-глинистый грунт; 4-материал типа "бидим"; 5-изол или полиэтиленовая пленка; 6-материал типа "колетанш"

и прослойку укладывать с поперечным уклоном для отвода воды на откос или в дренаж.

При необходимости ограничить увлажнение земляного полотна атмосферными осадками и грунтовыми водами устраивают дренирующую и капилляропрерывающую прослойки. Вместо капилляропрерывающей можно устраивать гидроизолирующую прослойку.

Гидроизолирующую прослойку под дорожной одеждой на всю ширину земляного полотна (рис. 1,в) целесообразно устраивать на участках с обеспеченным поверхностным стоком и глубоким залеганием грунтовых вод в районах, где атмосферные осадки могут существенно влиять на влажность грунтов. При этом дорожная одежда должна быть толщиной не менее 0,5 м из монолитных недренирующих материалов, обработанных вяжущими.

Конструкцию, показанную на рис. 1,г, применяют на участках дорог, проходящих в насыпи при близких грунтовых водах или наличии поверхностной воды. Гидроизолирующую прослойку располагают на границе активного слоя, но не ниже 0,2 м от поверхности земли.

Конструкцию (рис. 1,д) устраивают в насыпи на участках с двумя источниками увлажнения (осадки и грунтовые или поверхностные воды), если основание дорожной одежды состоит из зернистых материалов, а продольный уклон составляет не менее 5‰ для отвода воды из трубчатых дрен. Эту же конструкцию применяют в выемках и низких насыпях при устройстве дорожной одежды из зернистых материалов, а также из материалов, обработанных вяжущими. Для отвода воды из основания из зернистых материалов с коэффициентом фильтрации менее 5 м/сут для дорог III категории и менее 10 м/сут – I категории при двускатном поперечном профиле предусматривают устройство дренирующего слоя из песка между этим основанием и гидроизо-

лирующей прослойкой. Если действуют два источника увлажнения и насыпь не ниже 1,4 м, то гидроизолирующие прослойки устраивают на всю ширину земляного полотна под дорожной одеждой и на глубине активного слоя.

Конструкцию (рис. 1,е) применяют на участках, проходящих в равнинной местности при подтоплении грунтов активного слоя поверхностными или грунтовыми водами.

3.2. Дренирующие прослойки можно устраивать из материалов, способных фильтровать воду в поперечном направлении в плоскости холста. Коэффициент фильтрации таких материалов должен быть больше, чем грунта.

Армирующий эффект прослойки увеличивается с ростом жесткости (модуля деформации) материала. На пучинистых участках автомобильных дорог прослойки подвергаются циклическому воздействию пучения и осадки грунта. Для сохранения при таких условиях армирующего эффекта прослойки должны обладать упругими свойствами, чтобы после осадки грунта в весенний период они могли возвращаться в состояние, близкое к первоначальному; кроме того, они должны характеризоваться высоким сопротивлением ползучести, т.е. быть устойчивыми во времени.

В качестве капилляропрерывателя следует применять материалы, которые способны обеспечивать выполнение требований неравенства (35).

Такие материалы должны также обладать способностью фильтровать воду в поперечном направлении. Коэффициент их фильтрации должен быть больше, чем у грунта.

Прослойки должны отвечать следующим требованиям:

выдерживать без повреждений нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев грунта и дорожной одежды, а также при движении автомобилей по дороге;

противостоять воздействию неравномерного морозного пучения и осадки грунтов без разрывов и проколов;

противостоять воздействию влаги и температуры без изменения указанных выше свойств;

не заиливаться, сопротивляться разрушающему действию микроорганизмов и агрессивных вод;

быть технологичными.

На пучинистых участках автомобильных дорог следует применять материалы, деформативные свойства которых позволяют выдерживать неравномерное морозное пучение, т.е.

$$\varepsilon_{пуч} \leq K_{\varepsilon} \varepsilon_{разр} , \qquad (27)$$

где $\varepsilon_{пуч}$ – относительное удлинение материала прослойки при неравномерном морозном пучении, %;

K_{ε} – коэффициент, учитывающий циклическое воздействие пучения-осадки на допустимую величину относительного удлинения материала ($K_{\varepsilon} < 1$);

$\varepsilon_{разр}$ – относительное удлинение материала при разрыве, %.

Величину $\varepsilon_{разр}$ следует устанавливать применительно к условиям работы прослойки в земляном полотне, которые характеризуются, во-первых, плоским напряженным состоянием прослойки; во-вторых, малой скоростью деформации, равной интенсивности пучения грунтов земляного полотна; в-третьих, работой материала при отрицательных температурах. Для учета работы материала прослойки в плоском напряженном состоянии можно проводить испытания с помощью надуваемой пленочной мембраны. Коэффициент K_{ε} следует принимать равным величине, при которой прослойка выдерживает без разрывов более 100 циклов нагрузки и разгрузки.

Величину $\varepsilon_{пуч}$ устанавливают с учетом эпюры пучения земляного полотна и защемления прослойки в грунте:

$$\varepsilon_{пуч}=\left[\frac{(h_{пр}-h_{пл}+\Delta h_{пуч})\beta+\Delta\ell_{жз}}{\sqrt{2(h_{пр}-h_{пл}+\Delta h_{пуч})\Delta h_{пуч}-\Delta h^2_{пуч}}+\Delta\ell_{жз}}-1\right]100; \qquad (28)$$

$$\beta=\frac{\pi}{180}\arccos\frac{h_{пр}-h_{пл}}{h_{пр}-h_{пл}+h_{пуч}}, \qquad (29)$$

где $h_{пр}$ – глубина промерзания грунтов от низа дорожной одежды, м;

$h_{пл}$ – глубина заложения прослойки от низа дорожной одежды, м;

$\Delta h_{пуч}$ – разница между величинами пучения в соседних вертикальных слоях грунта под прослойкой, м;

$\Delta\ell_{жз}$ – расстояние от контура пучения грунта до линии жесткого защемления прослойки, м.

3.3. Для устройства дренирующих прослоек можно применять иглопробивной нетканый синтетический материал "дорнит Ф-2" (ТУ 21.29.81.81); для устройства дренирующих, армирующих и капилляропрерывающих прослоек – нетканые синтетические материалы типа "бидим"[x]. Гидроизолирующие прослойки можно устраивать из изола (ГОСТ 10296-79 "Изол. Технические условия"), полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм, стабилизированной 2% канальной сажи (ГОСТ 10354-73 "Пленка полиэтиленовая") и материала французского производства "колетанш" (нетканый синтетический материал, пропитанный битумом).

Неравномерное морозное пучение на автомобильных дорогах, отвечающих техническим требованиям, обычно не вызывает разрыва нетканых синтетических мате-

---

[x] Материал "бидим" выпускает французская фирма "Рон-Пуленк".

риалов. Для изола и полиэтиленовой пленки нужно контролировать выполнение соотношения (27), принимая удлинение пленки при разрыве по табл. 1.

Таблица 1

Скорость деформации пленки, мм/мин	Относительное удлинение пленки при разрыве, %, при температуре, °С				
	0	-5	-10	-15	-20
	Изол				
≤0,1	7	6	5	5	4
	Полиэтиленовая пленка толщиной 0,2 мм, стабилизированная 2% канальной сажи				
0,1	21	20	19	18	18
≤0,01	18	17	17	16	15

Примечание. Таблица составлена по данным исследований В.И.Зубковой.

В расчет следует включать значение коэффициента K_ε, равное 0,7 и 0,9 соответственно для изола и полиэтиленовой пленки.

При влажности грунта от оптимальной до полной влагоемкости и плотности от 1 до 0,8 от наибольшей плотности, полученной по методу стандартного уплотнения, величина $\Delta l_{*з}$ в уравнении (28) составляет для полиэтиленовой пленки от 10 до 20 мм. При оптимальной влажности и плотности, равной 0,8 от наибольшей плотности, это расстояние составляет более 20 мм Для изола величина $\Delta l_{*з}$ во всех случаях равна нулю.

3.4. Для расчета водно-теплового режима земляного полотна необходимо знать количество атмосферных осадков, отводимых по дренирующей прослойке и просачивающихся через нее в нижележащий грунт, а также максимальную величину интенсивности стока воды по прослойке. Порядок их определения следующий.

Вначале разбивают поперечный профиль прослойки

на участки длиной $\Delta\ell$ (рис.2). Затем для каждого из них рассчитывают интенсивность просачивания воды через прослойку в нижележащий грунт по формулам (30)-(32).

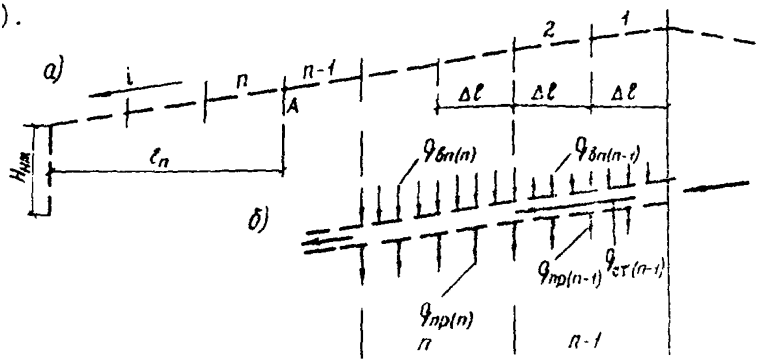

Рис.2. Схемы для определения интенсивности просачивания воды через прослойку: а-поперечный профиль прослойки; б-составляющие водного баланса прослойки

$$q_{пр(n)} = \left(J_0 - i - \frac{H_{н.м}}{\ell_п}\right)\sqrt{a_{н.м}\, q_{пв(n)} \frac{K_{ф(гр)}}{K_{ф(нм)}}}, \qquad (30)^{x)}$$

где $q_{пр(n)}$ – интенсивность просачивания воды через прослойку в грунт на n-м участке, л/(сут·м^2);

J_0 – гидравлический градиент, при котором отсутствует просачивание воды через прослойку, безразмерная величина; для бидима $J_0 = 0{,}45$, для дорнита $J_0 = 0{,}60$;

i – поперечный уклон прослойки, доли единицы;

$H_{н.м}$ – длина выпуска нетканого синтетического материала на откос или в дренаж, м;

$\ell_п$ – расстояние от кромки прослойки до начала n-го участка (точка "А"), м;

$a_{н.м}$ – коэффициент, характеризующий поровую систему нетканого синтетического материала, л/(сут·м^2), для бидима $a_{н.м} = 60$ л/(сут·м^2), для дорнита $a_{н.м} = 100$ л/(сут·м^2);

x) По данным исследований С.В.Черняева.

$q_{пв(п)}$ – интенсивность поступления воды в прослойку на n -м участке, л/(сут·м2);

$K_{ф(гр)}$ – коэффициент фильтрации грунта под прослойкой, м/сут;

$K_{ф(н.м)}$ – коэффициент фильтрации нетканого синтетического материала в поперечном (в плоскости холста) направлении, м/сут; для бидима $K_{ф(н.м)}$ = 60÷30 м/сут, для дорнита $K_{ф(н.м)}$ = 50÷20 м/сут соответственно при нагрузке 10 и 200кПа.

Формула (30) применима при $K_{ф(гр)} \leq 0{,}1$ м/сут и $q_{пр(п)}$ не более интенсивности впитывания в грунт в случае, когда он покрыт сплошным слоем воды в течение всего рассматриваемого периода.

Величину $q_{пв(п)}$ определяют с учетом воды, поступающей в прослойку непосредственно из вышележащего грунта или дорожной одежды и стекающей по порам холста с верховой стороны:

$$q_{пв(п)} = q_{вп(п)} + \frac{q_{ст(п-1)}}{f_п}, \qquad (31)$$

где $q_{вп(п)}$ – интенсивность впитывания воды в прослойку из вышележащего грунта или дорожной одежды на n -м участке, л/(сут·м2);

$q_{ст(п-1)}$ – интенсивность стока воды по порам холста с $(n-1)$-го участка, л/сут;

$f_п$ – площадь n -го участка, м^2 ($f_п = \Delta \ell_п \cdot 1$ м^2).

При этом

$$q_{ст(п-1)} = \left(q_{п.в(п-1)} - q_{пр(п-1)}\right) f_{(п-1)} \leq \qquad (32)$$

$$\leq 10^3 \delta_{н.м} K_{ф(н.м)} \left(\frac{H_{н.м} + i\ell_п}{H_{н.м} + \ell_п}\right),$$

где $\delta_{н.м}$ – толщина нетканого синтетического материала, м.

Толщину нетканого синтетического материала в кон-

струкции следует устанавливать по табл.2 в зависи - мости от нагрузки при уплотнении вышележащих слоев грунта и дорожной одежды. Величина этой нагрузки зависит от параметров катка (давление в шинах, диаметр следа и другие показатели) и толщины уплотняемого слоя над прослойкой.

Таблица 2

Нагрузка, кПа	Толщина материала, мм, при массе, кг/м2		
	0,3	0,4	0,6
10	2,4	3,1	4,9/4,5
20	2,1	2,7	4,6/3,5
40	1,8	2,4	4,1/3,0
80	1,5	2,0	3,5/2,5
120	1,3	1,8	3,1/2,3
200	1,1	1,5	2,7/2,0

Примечание. Над чертой - толщина бидима, под чертой - дорнита Ф-2.

3.5. В конструкциях земляного полотна с армирующими прослойками морозоустойчивость дорожной одежды обеспечивается при повышенных значениях морозного пучения грунтов по сравнению с нормами, рекомендуемыми "Инструкцией" ВСН 46-72. В этом случае допускаемое пучение покрытия $l_{доп\,(н.м)}$, см, следует устанавливать по уравнениям:

$$l_{доп(н.м)} = \frac{l_{доп(эт)}\,\gamma_{эт}}{\gamma_{н.м}}\ ; \qquad (33)$$

$$\gamma_{н.м} = \gamma_{эт} - a_T \lg\left(1 + \frac{E\,\gamma_{н.м}\,l_{доп(н.м)}}{\delta_T}\right) \Big/ l_{доп(н.м)}\ , \qquad (34)$$

где $l_{доп(эт)}$ - допускаемое пучение покрытия без прослоек, см;

$\gamma_{эт}, \gamma_{нм}$ – коэффициенты неравномерного пучения покрытия соответственно в конструкциях без прослоек и с армирующими прослойками, доли единицы;

$a_т, в_т$ – коэффициенты, характеризующие деформативные и упругие свойства нетканых синтетических материалов; для бидима $a_т = 0{,}08$, $в_т = 20$ Н;

E – модуль деформации нетканого синтетического материала, Н/см; модуль деформации определяется по методике, установленной для текстильных тканей; для бидима $E = 690$ Н/см.

Расчет по уравнениям (33) и (34) можно проводить при условии, что давление на нетканый синтетический материал от вышележащих слоев дорожной одежды составляет не менее 5 кПа.

Допустимое пучение покрытия определяют методом подбора, принимая $\gamma_{эт} = 0{,}25$.

3.6. При проектировании земляного полотна следует проверять возможность применения нетканого синтетического материала типа "бидим" в качестве капилляропрерывающей прослойки.

Прослойки из нетканых синтетических материалов могут быть заполнены водой в результате поступления атмосферных осадков или отжатия воды при осадке грунта. Прослойка работает в качестве капилляропрерывателя тогда, когда происходит ее осушение в результате разрыва водного потока на границе между материалом и нижележащим грунтом. Такой разрыв наблюдается в случае, когда расход капиллярно-подвешенной воды из прослойки будет больше расхода собственно капиллярной воды через прослойку. В этом случае имеет место соотношение

$$\left[\frac{K^{I}_{w(n)}\left(\frac{q^{I}_{к(n)}-q_{н.м}}{\rho_в g}-\Delta S^{I}\right)}{\Delta S^{I}}+\ldots+\frac{K^{IV}_{w(n)}\left(\frac{q^{IV}_{к(n)}-q_{н.м}}{\rho_в g}-\Delta S^{IV}\right)}{\Delta S^{IV}}\right]\frac{\bar{\omega}_{к(n)}}{4}>$$

$$> \left\{ \frac{K^{I}_{w(n)} \left[\frac{q^{I}_{к(n)}}{\rho_в g} - \left(h_{н.м} + \delta_{н.м} + \Delta S^{I} \right) \right]}{h_{н.м} + \delta_{н.м} + \Delta S^{I} + U^{I}} + \ldots + \right.$$

$$\left. + \frac{K^{IV}_{w(n)} \left[\frac{q^{IV}_{к(n)}}{\rho_в g} - \left(h_{н.м} + \delta_{н.м} + \Delta S^{IV} \right) \right]}{h_{н.м} + \delta_{н.м} + \Delta S^{IV} + U^{IV}} \right\} \frac{\omega_{к(n)}}{ч}, \qquad (35)$$

где $q_{н.м}$ – удельная движущая сила мениска воды в предварительно смоченном нетканом синтетическом материале, Па;

$\Delta S^{I}, \Delta S^{IV}$ – высота воды над прослойкой соответственно в I и IУ группах капилляров грунта, м;

$h_{н.м}$ – расстояние от горизонта грунтовых вод (ГГВ) до прослойки, м.

При одном и том же грунте над прослойкой и под ней

$$U^{I} = \frac{ч h_{н.м} K^{I}_{w}}{\xi^{I} K^{I}_{w} + \ldots + \xi^{IV} K^{IV}_{w}} + n\delta_{н.м} \frac{K^{I}_{w}}{K_{ф(н.м)}} - \left(h_{н.м} + \delta_{н.м} \right), \qquad (36)$$

где n – пористость нетканого синтетического материала, доли единицы; для материала типа "бидим" $n = 0{,}8 \div 0{,}9$; меньшее значение соответствует нагрузке 200 кПа.

Аналогичный вид имеют зависимости, по которым определяются значения U для остальных групп капилляров грунта.

Коэффициенты ξ^{I} и ξ^{IV} характеризуют степень заполнения капилляров грунта водой. При поднятии капиллярной воды от ГГВ до прослойки этот коэффициент равен единице, в остальных случаях – нулю.

Величину $q_{н.м}$ устанавливают по максимальной высоте поднятия воды в нетканом синтетическом материале $h_{к(н.м)}$, м, при эффекте сифона: $q_{н.м} = \rho_в g h_{к(ин)}$;

для бидима $q_{н.м} = 12{,}7$ гПа.

Прослойки из нетканых синтетических материалов типа "бидим", как правило, выполняют функцию капилляропрерывателя в глинистых грунтах; в песчаных, особенно крупно- и среднезернистых, они в этом качестве не работают.

3.7. В конструкциях (см.рис.1,а) нетканый синтетический материал укладывают на спланированное и уплотненное в соответствии с действующими нормативами земляное полотно. Поперечный уклон дренирующей прослойки из нетканых синтетических материалов принимают не менее 20‰.

В конструкции (см.рис.1,б) поперечный уклон капилляропрерывающей прослойки также должен быть не менее 20‰. Допускается укладывать нетканый синтетический материал на грунтовое основание с местными понижениями глубиной не более 8–10 см. В этом случае поперечный уклон следует увеличить до 60–80‰, а длину выпуска полотнищ материала на откос или в дренаж – до 0,8–1 м.

При устройстве капилляропрерывающей и дренирующей прослоек рулоны нетканого синтетического материала раскатывают одно по другому, сшивают края швейной машинкой и разворачивают. При отсутствии швейной машинки допускается скреплять полотнища скобами при ширине нахлеста 10–15 см.

Передвижение транспортных средств или строительных механизмов непосредственно по нетканому синтетическому материалу не разрешается.

Вышележащие слои следует устраивать путем надвижки материалов или грунтов.

Минимальная толщина слоя грунта или материала дорожной одежды, при которой допускается проезд строительных машин, составляет в уплотненном состоянии не менее 0,2 и 0,3 м соответственно при коэффи –

циенте уплотнения грунта под прослойкой не менее 0,98 и менее 0,95 от наибольшей плотности, получен - ной по методу стандартного уплотнения.

3.8. Гидроизолирующие материалы (изол, полиэти - леновую пленку толщиной 0,2 мм и колетанш) без по- вреждений выдерживают нагрузки, возникающие при укладке и уплотнении вышележащих слоев грунта и до- рожной одежды при условии, что плотность нижележа - щих слоев грунта составляет не менее 0,95 от наи - большей плотности, установленной по методу стандарт- ного уплотнения. Если грунты уплотнить нельзя, то их следует заменить. Толщина слоя грунта над прослой - кой должна быть не менее 0,25 м в уплотненном со - стоянии. Можно уменьшить эту толщину до 0,2 м при плотности грунта под прослойкой не менее 0,98 от наи- большей плотности.

Следует предусматривать устройство подстилающе - го и защитного слоев, между которыми нужно распо - лагать гидроизолирующий материал. Эти слои устраи - вают из грунтов определенного зернового состава. При использовании изола грунт не должен содержать зерен крупнее 40 мм. Если в грунте имеются частицы разме- ром 5-40 мм, то кривая зернового состава не должна выходить за пределы допустимого зернового состава, представленного в табл. 3. При использовании полиэти- леновой пленки толщиной 0,2 мм грунт не должен со - держать частиц крупнее 20 мм, а кривая зернового со- става не должна выходить за пределы области, указан- ной в той же табл. 3.

Толщина подстилающего и защитного слоев должна быть не меньше 0,1 м в плотном теле. При использо - вании материала типа "колетанш" подстилающий и за- щитный слои не устраивают.

Под дорожной одеждой толщиной не менее 0,5 м по- лиэтиленовую пленку и изол можно укладывать без

специальной защиты, если вышележащие слои устроены из монолитных материалов; в противном случае гидроизоляцию необходимо укладывать под дренирующий слой из песка.

Поверхность подстилающего слоя следует поддерживать в состоянии, исключающем возможность образования скоплений и застоев воды. В грунте подстилающего слоя нельзя оставлять скопления льда и снега, при оттаивании которых могут происходить неравномерные просадки. По подготовленному подстилающему слою проезд механизмов и автотранспорта не допускается. Перед укладкой гидроизолирующего слоя следует удалить посторонние предметы и крупные включения.

Таблица 3

Размер зерен, мм	Допустимое содержание зерен крупнее данного размера, %, в подстилающем и защитном слоях	
	для изола	для полиэтиленовой пленки толщиной 0,2 мм
40	0	-
30	35	-
20	60	0
10	75	25
5	90	45

Примечание. Таблица составлена по данным исследований В.И.Зубковой.

Гидроизолирующие слои следует устраивать при положительных температурах. Укладывать полотнища полиэтиленовой пленки и изола при скорости ветра соответственно более 10 и более 15 м/с не рекомендуется.

Гидроизолирующий материал укладывают на подготовленное основание, начиная с низовой (по направлению стока воды) стороны.

Полотнища необходимо укладывать внахлестку (5–8 см) и сваривать газовой горелкой или склеивать предварительно нагретым битумом БНД 90/130 (ГОСТ 22245–76 "Битумы нефтяные дорожные вязкие. Технические условия") соответственно при применении материала типа "колетанш" и изола. В последнем случае стыки следует уплотнять.

Сваривать полотнища полиэтиленовой пленки можно с помощью горячего воздуха, инфракрасного излучения, ультразвука или аппаратами контактного нагрева. Режимы сварки подбирают опытным путем в зависимости от толщины полиэтиленового материала. Прочность сварного шва должна составлять не менее 60% прочности основного материала. Края свариваемых пленок соединяют между собой внахлестку или Т-образным швом. Ширину нахлеста следует принимать не менее 5 см.

Полотнища можно соединять лентой с липким слоем (СТУ 14222–64). Ширина нахлеста в этом случае 0,15–0,3 м.

За исключением конструкций с грунтом в обойме или подтопляемых непосредственно поверхностными или грунтовыми водами вместо сварки или склеивания полотнищ полиэтиленовой пленки допускается устраивать стыки внахлестку и скручиванием при условии, что они находятся под нагрузкой от веса вышележащих слоев грунта и дорожной одежды не менее 9,8 кПа. Ширина нахлеста должна быть не менее 0,5 и 0,7 м при коэффициенте уплотнения грунта под пленкой соответственно более 0,95 и 0,92, относительной влажности в расчетный период соответственно менее 0,8 и 0,85 от границы текучести. Пленку следует укладывать свободно, без натяжки; в ветреную погоду края полотнищ нужно закреплять. Ходить по полиэтиленовой пленке и изолу можно только в мягкой обуви.

Полиэтиленовая пленка не должна находиться под воздействием прямой солнечной радиации более 2-3 ч, поэтому отсыпку и надвижку грунта следует вести узким фронтом. Изол следует засыпать в день его укладки; срок засыпки синтетического материала типа "колетанш" не регламентируется, но засыпка осуществляется только при положительных температурах.

Грунт уплотняют в соответствии с действующими нормативами.

При сооружении земляного полотна с грунтом в обойме из изола или полиэтиленовой пленки существует вероятность повреждения этих материалов во время строительства, что недопустимо для указанной конструкции. Поэтому, устраивая грунт в обойме, необходимо проводить геофизический контроль герметичности уложенного материала методом комбинированного электропрофилирования трехэлектродной установкой. Полиэтиленовая пленка и изол являются высокоомными материалами, поврежденные же участки, скрытые под защитным грунтовым слоем, во время электропрофилирования проявляются в виде низкоомных зон. Разрывы полиэтиленовой пленки и изола фиксируются на графике электропрофилирования в виде перекрещивающихся ломаных линий в зоне низких значений удельных сопротивлений. Силу тока и разность потенциалов измеряют с помощью электронно-стрелочного компенсатора ЭСК-1. В качестве питающих электродов нужно использовать железные стержни, в качестве приемных - медные. Оптимальным расстоянием между точками наблюдений является шаг установки, равный 5 м, расстояние между профилями - 5 м.

4. Требования к проектированию оптимальных конструкций земляного полотна

4.1. Оптимальная конструкция земляного полотна соответствует минимуму приведенных затрат при условии, что обеспечены требуемые прочность и морозоустойчивость дорожной одежды.

Расчет на прочность следует проводить в соответствии с "Инструкцией" ВСН 46-72.

Морозоустойчивость дорожной одежды при достаточно стабильной во времени ровности покрытия, как правило, обеспечивается при соблюдении нормативных требований, заключающихся в том, что общее пучение грунтов не должно превосходить допустимых значений $l_{доп\,(о)}$, равных 2, 4 и 6 см соответственно при цементо-, асфальтобетонных и усовершенствованных типа покрытий в условиях, когда суммарная величина пучения не менее чем на 2/3 состоит из пучения грунтов насыпи[x]. Допустимую величину пучения нужно вычислять по формулам:

при $h_{пуч(мз)}+h_{пуч(нас)} \geq 2/3\, h_{пуч}$ $\quad l_{доп}=K_1 l_{доп(о)}$; (37)

при $h_{пуч(мз)}+h_{пуч(нас)} \leq 2/3\, h_{пуч}$

$$l_{доп}=K_1\left[\frac{1}{K_2}+\frac{3}{2}\left(1-\frac{1}{K_2}\right)\left(1-\frac{h_{пуч(осн)}}{h_{пуч}}\right)\right] l_{доп(о)}, \qquad (38)$$

где $h_{пуч(мз)}, h_{пуч(нас)}, h_{пуч(осн)}$ – ожидаемое пучение грунтов соответственно морозозащитного слоя, насыпи и основания насыпи или выемки, см,

---

x) В пределах насыпи пучение происходит сравнительно равномерно по сравнению с нижележащими грунтами, так как насыпь устраивают из однородных грунтов горизонтальными слоями с равномерным послойным уплотнением.

$h_{пуч}$ – ожидаемое суммарное пучение морозозащитного слоя, нижележащих грунтов земляного полотна и грунтов с ненарушенной структурой, см;

K_1 – коэффициент, учитывающий влияние специальных мероприятий на неравномерность пучения грунтов, безразмерная величина;

K_2 – коэффициент, учитывающий условия залегания грунта, безразмерная величина.

При устройстве армирующих прослоек из нетканых синтетических материалов (см.п.3.5)

$$K_1 = \gamma_{эт}/\gamma_{нм} .$$

Для однородных грунтов $K_2 = 1$, для неоднородных грунтов, при глубоком залегании грунтовых вод и отсутствии верховодки $K_2 = 1{,}5$, для неоднородных грунтов и при близком залегании грунтовых вод или наличии верховодки $K_2 = 2$.

4.2. Следует иметь в виду, что равноценные по морозоустойчивости варианты конструкций, как правило, не эквивалентны по условиям прочности, т.е. при одной и той же требуемой прочности они обладают различными коэффициентами запаса прочности. Вследствие этого они характеризуются разными межремонтными периодами и эксплуатационными качествами. Это, в свою очередь, обусловливает различие в дорожных и транспортных эксплуатационных расходах, необходимых для осуществления заданного объема перевозок.

Сумма приведенных затрат по каждому варианту земляного полотна определяется по формуле[x])

$$\bar{П} = \bar{С} + \bar{С}_к + \bar{С}_с + \bar{С}_а + \bar{С}_у - (\bar{С}_о - \bar{С}_{сл}) + \bar{С}_т + \bar{С}_{тр} , \qquad (39)$$

---

x) Параметры для определения составляющих уравнений (39) и соответствующие формулы приведены в работе М.Б.Корсунского "Технико-экономическое обоснование конструкций дорожных одежд" (М.:Транспорт, 1964) и в справочнике инженера-дорожника "Содержание и ремонт автомобильных дорог" (М.:Транспорт, 1974).

где $\bar{П}$ – сумма приведенных затрат за срок сравнения вариантов;

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

$\bar{С}_к$ – приведенные затраты на капитальные ремонты конструкций за срок сравнения вариантов;

$\bar{С}_с$ – то же, на средние ремонты;

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

$\bar{С}_у$ – приведенные затраты, обусловленные удорожанием перевозок в период производства капитальных ремонтов;

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

$\bar{С}_{оА}$ – то же, подвижного состава;

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

$\bar{С}_{тр}$ – приведенные транспортные расходы на перевозку пассажиров и грузов.

При оценке вариантов конструкций земляного полотна нужно учитывать, что устройство дренирующих, гидроизолирующих и других прослоек, регулирующих водно-тепловой режим земляного полотна, позволяет обеспечить более стабильную во времени ровность покрытия по сравнению с традиционными решениями, в результате чего снижается себестоимость перевозок грузов, повышается безопасность и комфортабельность движения[x]. Дополнительный экономический эффект обусловлен уменьшением пребывания пассажиров и грузов в пути, ускорением оборота средств, высвобождением подвижного состава и снижением количества дорожно-транспортных происшествий.

---

[x] Снижение себестоимости перевозки грузов достигает 950–1000 руб/км в год при интенсивности движения автомобилей на период ввода дороги в эксплуатацию 1000 авт/сут. С учетом срока службы покрытия (около 20 лет) и роста интенсивности движения в 3–3,5 раза экономический эффект составит 60 тыс.руб. на 1 км дороги (данные исследований Ю.А.Никонорова).

Примеры расчета *)

Определение притока атмосферных осадков в грунт на обочинах перед промерзанием земляного полотна

Исходные данные. Дорога проходит по территории Калининской обл. Повторяемость выпадения осадков 1 раз в 20 лет. Местность равнинная. Ширина проезжей части 7 м, обочин – 2,5 м, поперечный уклон обочин – 40‰. Покрытие проезжей части – асфальтобетон. Обочины укреплены песчано-гравийной смесью. Грунт земляного полотна – тяжелый пылеватый суглинок. Оптимальная влажность–14%. Коэффициент уплотнения грунта в расчетный период – 0,93.

Расчетные значения метеорологических факторов определяют по табл. 3 упомянутых выше "Методических рекомендаций".

Исходя из этого, принимают T_q = 230 ч (13800 мин), i_q = 0,005 мм/мин, m = 65, d = 0,8 гПа, V = 4 м/с.

Последовательно определяют:

1) суммарную величину смачивания поверхности проезжей части по формулам (10) и (11):

$$H_{см(о)} = 0{,}01 \cdot 65 \sqrt[3]{0{,}8 \cdot \frac{43200-13800}{65}} = 4{,}6 \text{ мм},$$

$$H_{см(о)} \leqslant 65 \cdot 0{,}5 = 32{,}5 \text{ мм}.$$

Принимают $H_{см(о)}$ = 4,6 мм;

---

*) Во всех примерах расчета (за исключением последнего) делается ссылка на формулы, таблицы и рисунки, приведенные в "Методических рекомендациях по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" (Союздорнии. М., 1983). В последнем примере расчета указаны формулы настоящего издания.

2) суммарную величину смачивания поверхности обочин по формулам (10)-(11)

$$H_{см} = 0{,}04 \cdot 65 \sqrt[3]{0{,}8 \cdot \frac{43200-13800}{65}} = 18{,}5 \text{ мм},$$

$$H_{см} \leqslant 65 \cdot 1{,}5 = 97{,}5 \text{ мм}.$$

Принимают $H_{см} = 18{,}5$ мм;

3) суммарное количество воды, впитывающейся в покрытие:

по формуле (13)

$$t_{бп(о)} = \frac{0{,}005 \cdot 13800 - 4{,}6}{0{,}005 \cdot 65} = 198 \text{ мин},$$

по формуле (12)

$$H_{бп(о)} = 0{,}003 \cdot 65 \ln(1+80 \cdot 0{,}005)\ 10^{0{,}4 \ln 198} = 8{,}6 \text{ мм};$$

4) интенсивность поступления воды на обочину:

по формуле (17)

$$i_{ст(о)} = 0{,}005 - \frac{8{,}6}{65 \cdot 198} = 0{,}004 \text{ мм/мин},$$

по формуле (16)

$$i_{п.б} = 0{,}005 + \frac{1}{2{,}5} \cdot \frac{7}{2} \cdot 0{,}004 = 0{,}011 \text{ мм/мин};$$

5) коэффициент впитывания воды в грунт земляного полотна по графику (рис.1); для суглинка с коэффициентом уплотнения 0,93 и оптимальной влажностью 14% получают $C = 0{,}1$;

6) интенсивность впитывания в грунтовые обочины:

задаются $i_{ст} = 0{,}007$ мм/мин. По графику (рис.2) при: $i_{ст} = 0{,}007$ мм/мин и $J = 40‰$ получают $J_{гл} = 0{,}018$ мм/мин.

Тогда

$$i_{бп} = (0{,}018 + 0{,}02) \cdot 0{,}1 = 0{,}004 \text{ мм/мин}.$$

С другой стороны,

$$i_{бп} = 0{,}011 - 0{,}007 = 0{,}004 \text{ мм/мин}.$$

Ввиду равенства обоих значений интенсивности впитывания подбор закончен.

Принимают $i_{бп} = 0{,}004$ мм/мин;

7) суммарное количество воды, впитывающейся в грунт земляного полотна на обочинах, по формуле (22)

$$H_{6n(об)} = 0{,}6 \cdot 0{,}004 \left[13800 - \left(\frac{4{,}6}{0{,}005} + \frac{18{,}5-4{,}6}{0{,}011}\right)\right] = 27{,}9 \text{ мм};$$

8) испарение воды из грунта земляного полотна на обочинах:

по формуле (24)

$$i_{исп} = 25 \cdot 10^{-5} \cdot 0{,}8\, l_q \left(1 + \frac{80}{0{,}8}\right)(1+0{,}15 \cdot 4) = 0{,}00064 \text{ мм/мин},$$

по формуле (25)

$T_{исп} = 43200 - 13800 = 29400$ мин,

по формуле (23)

$H_{исп(об)} = 0{,}70 \cdot 0{,}00064 \cdot 29400 = 13{,}2$ мм;

9) приток воды в грунт на обочинах по формуле (4)

$q'_{ат.л(об)} = 10^{-3} \cdot 1{,}3(27{,}9 - 13{,}2) = 0{,}019$ м^3 на 1 м^2 дороги.

Установление влажности глинистого грунта перед его промерзанием на участках дорог, увлажняемых в основном атмосферными осадками

Рассмотрим два примера определения влажности. Один для конструкции с морозозащитным слоем из некондиционного песка на всю ширину полотна, другой – без такого слоя. В остальном исходные данные для расчета одни и те же.

Исходные данные. Ширина проезжей части 7 м, краевой полосы 0,5 м. Последняя имеет то же покрытие, что и проезжая часть. Толщина дорожной одежды без морозозащитного слоя 0,5 м. Грунт земляного полотна – легкий пылеватый суглинок с коэффициентом уплотнения 0,98. Наибольшая плотность этого грунта, установленная методом стандартного уплотнения, 1810 кг/м^3, оптимальная влажность 15%. Морозозащитный слой

толщиной 0,2 м устроен из мелкого песка. Влажность грунтов перед влагонакоплением равна оптимальной.

Влагонакопление атмосферных осадков в грунте происходит в последний осенний месяц и часть зимы до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через минус 2,5°С. Этот период равен 40 сут. В течение этого срока приток воды в грунт составляет 7 л/м^2 под проезжей частью и 16,5 л/м^2 под обочинами за пределами краевой полосы; отток воды из морозозащитного слоя через откосы земляного полотна – 30 л/м^2. С учетом запаздывания промерзания песка морозозащитного слоя просачивание воды из него в нижележащий глинистый грунт может происходить в течение 60 сут. Температура грунта в этот период составляет в среднем 5°С.

В расчет включают показатели капиллярных свойств грунтов из табл.7. Эти показатели приводим к температуре 5°С по формулам (32) и (33):

для мелкого песка $q_к^{I} = 59{,}4$ гПа, $q_к^{II} = 54{,}5$ гПа, $q_к^{III} = 49{,}5$ гПа, $q_к^{IV} = 44{,}6$ гПа;

для легкого пылеватого суглинка $q_к^{I} = 277{,}2$ гПа, $q_{к_1}^{II} = 212{,}9$ гПа, $q_к^{III} = 178{,}2$ гПа, $q_к^{IV} = 158{,}4$ гПа, $K_w^{I} = 0{,}9 \cdot 10^{-8}$ м/с, $K_w^{II} = 4{,}3 \cdot 10^{-8}$ м/с, $K_w^{III} = 8{,}5 \times 10^{-8}$ м/с, $K_w^{IV} = 12{,}8 \cdot 10^{-8}$ м/с.

Вычисляем по формуле (19) $W_{пб} = 0{,}192$, а затем $W_{кб} = 0{,}192 - 0{,}03 = 0{,}162$.

Тогда сумма площадей поперечных сечений капилляров, относящихся к одной группе (рис.4), составит

$$\bar{\omega}_к = (W_{кб} - W_{опт})\rho_{ск}/(\gamma\rho_в) = (0{,}162 - 0{,}150) \cdot 0{,}98 \cdot 1810/(4 \cdot 1000) = 0{,}0053 \text{ м}^2.$$

Для конструкции без морозозащитного слоя определяют глубину, на которую может просочиться вода под обочинами на различные моменты времени, но не более чем за 40 сут.

Принимают t = 25 сут. В этом случае для I группы капилляров

$$K_w^I \cdot t = 0{,}9 \cdot 10^{-8} \cdot 25 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 0{,}0194 \text{ м},$$

$$q_k^I/(\rho g) = 277{,}2 \cdot 100/(1000 \cdot 9{,}8) = 2{,}83 \text{ м}.$$

При этих величинах получаем по номограмме (рис.5) δ^I = 0,35 м. Аналогично устанавливают δ^{II} = 0,71 м, δ^{III} = 0,94 м, δ^{IV} = 1,15 м.

При заданной продолжительности просачивания определяют объем воды, который поступает в грунт под обочиной $0{,}0053 \cdot (0{,}35+0{,}71+0{,}94+1{,}15) \cdot 1000 = 16{,}7$ л/м^2.

Результаты расчета практически совпадают с величиной притока воды в грунт, равной 16,5 л/м^2. При этом условии глубины просачивания, вычисленные при t = 25 сут, являются искомыми.

Такой же расчет проводят для определения глубин, на которые может просочиться вода от низа дорожной одежды. В этом случае объем воды, который поступает в грунт, должен быть приблизительно равен 7 л/м^2. Получаем, что δ^I = 0,14 м, δ^{II} = 0,3 м, δ^{III} = 0,39 м, δ^{IV} = 0,47 м.

Затем устанавливают влажность грунта по слоям земляного полотна. Вначале проводят расчет при условии, что вода, источником которой являются атмосферные осадки, перемещается в грунте только вертикально вниз.

Влажность грунта под проезжей частью и краевой полосой составляет:

на глубине 0,14 м от низа дорожной одежды W = 16,2%;

на глубине 0,3 м $W = 16{,}2 - \frac{16{,}2-15{,}0}{4} = 15{,}9\%$;

на глубине 0,39 м $W = 16{,}2 - 2\left(\frac{16{,}2-15{,}0}{4}\right) = 15{,}6\%$;

на глубине 0,47 м $W = 16{,}2 - 3\left(\frac{16{,}2-15{,}0}{4}\right) = 15{,}3\%$.

По этим данным подсчитывают среднюю влажность грунта по слоям земляного полотна под проезжей частью:

h, м	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7
W,%	16,2	16,1	16,0	15,7	15,3	15,1	15,0

Аналогично устанавливают среднюю влажность грунта на обочине для тех же слоев земляного полотна:

h, м	0-0,3	0,3-0,4	0,4-0,5	0,5-0,6	0,6-0,7
W, %	15,9	15,8	15,6	15,5	15,3

В этом случае отсчет расстояний проводят от отметки низа дорожной одежды у кромки проезжей части.

Определяют прирост влажности грунта за счет поступления воды под проезжую часть со стороны обочины. Для этого предварительно устанавливают расстояния, на которые перемещается вода в поперечном направлении от кромки краевой полосы. В слой земляного полотна толщиной 0,3 м, расположенный под дорожной одеждой, вода в этом направлении не поступает, так как влажность грунта под проезжей частью больше, чем под обочиной. В слой грунта, расположенный на глубине 0,3 - 0,4 м от низа дорожной одежды, вода может просочиться на расстояние

1,15-0,60-0,35 = 0,30 м;

в слой от 0,5 до 0,6 м - на расстояние

1,15-0,50-0,55 = 0,10 м.

В данном примере, как показывают результаты расчета, прирост влажности грунта происходит только в пределах краевой полосы. При этом влажность грунта у кромки этой полосы составляет в слое 0,5-0,6 м 15,5% (вместо 15,1%) и т.д.

Затем переходят к расчету влажности глинистого грунта в конструкции с морозозащитным слоем из некондиционного песка на всю ширину земляного полотна.

В этом случае приток воды в грунт под морозозащитным слоем

$$[(7+2\cdot0,5)\cdot7+2\cdot2(16,5-9,8)-2\cdot0,2\cdot30]:12,6=5,6\ л/м^2,$$

где 9,8 л/м^2 – количество атмосферных осадков, которое идет на увлажнение грунта над морозозащитным слоем на обочинах; 12,6 м – ширина земляного полотна под морозозащитным слоем.

Аналогично изложенному определим значения глубин, на которые может просочиться вода от низа морозозащитного слоя на различные моменты времени, но не более чем за 60 сут.

Предварительно вычислим значения удельных движущих сил менисков капиллярно-подвешенной воды при ее перемещении из песка морозозащитного слоя в нижележащий суглинок.

Имеем, что $q_{ср(п)} = (59,4+54,5+49,5+44,6):4 = 52$ гПа. Тогда $\bar{q}_к^{I} = 277,2-52=225,2$ гПа, $\bar{q}_к^{II} = 212,9-52=160,9$ гПа, $\bar{q}_к^{III} = 178,2-52=126,2$ гПа, $\bar{q}_к^{IV} = 158,4-52=106,4$ гПа. Задаемся $t = 4,5$ сут. В этом случае $K_w^{I} t = 0,9\cdot10^{-8}\cdot4,5\times$ $\times24\cdot60\cdot60=0,0035$ м, $\bar{q}_к^{I}/(\rho_в g) = (225,2\cdot10^2):(10^3\cdot9,8)=2,30$ м. По номограмме (рис.5) $\bar{\delta}^{I}=0,13$ м, для других групп капилляров $\bar{\delta}^{II}=0,25$ м, $\bar{\delta}^{III}=0,32$ м, $\bar{\delta}^{IV}=0,37$ м. Эти глубины являются искомыми, так как соответствующий им объем воды, который поступает в грунт, приблизительно равен 5,6 л/м^2.

Включая полученные величины в расчет, получаем средние значения влажности грунта по слоям земляного полотна под морозозащитным слоем:

h, м	0–0,1	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,4	0,4–0,5
W, %	16,2	16,1	15,8	15,5	15,0

Установление на различные моменты времени в осенний период распределения собственно-капиллярной воды в двухслойных грунтах

Исходные данные. Верхний слой грунта – супесь легкая толщиной 1 м, нижний слой – тяжелый пылеватый суглинок толщиной 0,5 м, расположенный над горизонтом грунтовых вод.

Супесь характеризуется показателями: $K_{oc} = 0{,}98$; $\rho_{ск} = 1900$ кг/м^3; $W_{к.в} = 12\%$; $W_{опт} = 10{,}2\%$; $q^{I}_{к(10)} = 170$ гПа; $q^{II}_{к(10)} = 125$ гПа; $q^{III}_{к(10)} = 95$ гПа; $q^{IV}_{к(10)} = 75$ гПа; $K^{I}_{w(10)} = 5\cdot10^{-8}$ м/с; $K^{II}_{w(10)} = 10\cdot10^{-8}$ м/с; $K^{III}_{w(10)} = 20\cdot10^{-8}$ м/с; $K^{IV}_{w(10)} = 25\cdot10^{-8}$ м/с.

Тяжелый пылеватый суглинок характеризуется показателями:
$K_{oc} = 0{,}96$; $\rho_{ск} = 1850$ кг/м^3; $W_{к.в} = 15{,}2\%$; $W_{опт} = 13{,}2\%$; $q^{I}_{к(10)} = 340$ гПа; $q^{II}_{к(10)} = 210$ гПа; $q^{III}_{к(10)} = 195$ гПа; $q^{IV}_{к(10)} = 185$ гПа; $K^{I}_{w(10)} = 60\cdot10^{-10}$ м/с; $K^{II}_{w(10)} = 165\cdot10^{-10}$ м/с; $K^{III}_{w(10)} = 275\cdot10^{-10}$ м/с; $K^{IV}_{w(10)} = 385\cdot10^{-10}$ м/с.

Здесь K_{oc} – коэффициент уплотнения грунта осенью; $\rho_{ск}$ – плотность скелета грунта; $W_{к.в}$ – полная капиллярная влагоемкость; $W_{опт}$ – оптимальная влажность; $q^{I}_{к(10)}$, $q^{II}_{к(10)}$, $q^{III}_{к(10)}$, $q^{IV}_{к(10)}$, $K^{I}_{w(10)}$, $K^{II}_{w(10)}$, $K^{III}_{w(10)}$, $K^{IV}_{w(10)}$ – соответственно удельные движущие силы менисков и коэффициенты просачивания воды по группам капилляров при 10°С.

Температуру грунта осенью принимают равной 5°С. Тогда по формулам (32) и (33) для супеси[x]:

$$q^{I}_{к(2)} = 170\cdot(1-0{,}002\cdot5) = 168{,}3 \text{ гПа};$$

$$K^{I}_{w(2)} = 5\cdot10^{-8}(0{,}7+0{,}03\cdot5) = 4{,}3\cdot10^{-8} \text{ м/с}.$$

---

[x] Слой супеси – второй по порядку слой по направлению движения собственно капиллярной воды от горизонта грунтовых вод. В соответствии с изложенным этот порядковый номер вводится в качестве индекса при обозначении показателей капиллярной системы этого слоя грунта.

Для других групп капилляров: $q^{II}_{к(2)} = 123{,}8$ гПа; $K^{II}_{w(2)} = 8{,}5\cdot10^{-8}$ м/с; $q^{III}_{к(2)} = 94{,}1$ гПа; $K^{III}_{w(2)} = 17\cdot10^{-8}$ м/с; $q^{IV}_{к(2)} = 74{,}3$ гПа; $K^{IV}_{w(2)} = 21{,}3\cdot10^{-8}$ м/с.

Аналогично для тяжелого пылеватого суглинка:

$q^{I}_{к(1)} = 336{,}6$ гПа; $K^{I}_{w(1)} = 51\cdot10^{-10}$ м/с;

$q^{II}_{к(1)} = 207{,}9$ гПа; $K^{II}_{w(1)} = 140{,}3\cdot10^{-10}$ м/с;

$q^{III}_{к(1)} = 193{,}1$ гПа; $K^{III}_{w(1)} = 233{,}8\cdot10^{-10}$ м/с;

$q^{IV}_{к(1)} = 183{,}2$ гПа; $K^{IV}_{w(1)} = 327{,}3\cdot10^{-10}$ м/с.

Для тяжелого пылеватого суглинка установим распределение воды через 38 сут с момента ее перемещения от горизонта грунтовых вод. Для I группы капилляров: $K^{I}_{w(1)}t = 51\cdot10^{-10}\cdot38\cdot24\cdot60\cdot60 = 0{,}0167$ м; $q^{I}_{к(1)}/(\rho_в g) = 3{,}43$ м. При этих значениях по номограмме рис.6 $\delta^{I} = 0{,}33$ м. Аналогично $\delta^{II} = 0{,}42$ м и $\delta^{III} = 0{,}5$ м.

Установим распределение собственно капиллярной воды в слое супеси за 8 сут после подхода воды к этому слою. При расчете последовательно находим: по формуле (29) $P = 0{,}5\cdot1 = 0{,}5$ м; по формуле (30) $\tau = 0{,}5$ м; по формуле (31) для I группы капиллярной системы слоя супеси

$$U^{I} = 0{,}5\,\frac{4{,}0\cdot4{,}3\cdot10^{-8}}{1\cdot327{,}3\cdot10^{-10}} - 0{,}5 = 2{,}13 \text{ м}.$$

Аналогично для остальных групп капиллярной системы супеси $U^{II} = 4{,}69$ м, $U^{III} = 9{,}89$ м; $U^{IV} = 12{,}52$ м. Затем по формуле (28) для I группы капиллярной системы супеси устанавливаем высоту поднятия воды над слоем тяжелого пылеватого суглинка. В этом случае искомая величина $(\delta^{I} - \tau)$ определяется методом подбора. При $\delta^{I} - \tau = 0{,}015$ м

$$t = \frac{-0{,}015 - \left(\frac{168{,}3\cdot10^{2}}{10^{3}\cdot9{,}8} - 0{,}5 + 2{,}13 + 0{,}5\right)\ln\left(1 - \frac{0{,}015}{\frac{168{,}3\cdot100}{1000\cdot9{,}8} - 0{,}5}\right)}{4{,}3\cdot10^{-8}} =$$

$= 7\cdot10^{5}$ с.

Ввиду того, что $t = 7 \cdot 10^5$ с, т.е. примерно 8 сут, подбор закончен.

Аналогично для остальных групп капиллярной системы: $\Delta^{I} - \tau = 0{,}009$, $\Delta^{II} - \tau = 0{,}006$ м, $\Delta^{III} - \tau = 0{,}004$ м. Тогда эпюра влажности над горизонтом грунтовых вод:

на высоте 0,33 м и ниже $W = 15{,}2\%$;

на высоте 0,42 м $W = 14{,}7\%$;

на высоте 0,5 м $W = 14{,}2\%$;

на высоте 0,5+0,004 = 0,504 м $W = 12\%$;

на высоте 0,5+0,006 = 0,506 м

$$W = \frac{3 \cdot 12{,}0 + 10{,}2}{4} = 11{,}6\%;$$

на высоте 0,5+0,009 = 0,509 м

$$W = \frac{12 + 10{,}2}{2} = 11{,}1\%;$$

на высоте 0,5+0,015 = 0,515 м

$$W = \frac{12 + 3 \cdot 10{,}2}{4} = 10{,}7\%;$$

на высоте выше 0,515 м влажность грунта равна начальной.

Определение расчетного горизонта грунтовых вод на участке дороги в Московской области

Исходные данные. Изыскания проводились в 1979 г. в конце осени перед промерзанием зоны аэрации. В этот период грунтовые воды находились на глубине $H_i = 1{,}1$ м от поверхности земли. Непосредственно на участке изысканий многолетние наблюдения не проводились, поэтому необходимо привлекать информацию, заложенную в оперативных прогнозах, составляемых Министерством геологии СССР.

По карте распределения прогнозных летне-осенних минимальных уровней грунтовых вод на 1979 г., которая составлена Центральной партией прогнозов режима

подземных вод ВСЕГИНГЕО, район изысканий характеризуется коэффициентом $\lambda_н = 0,5$.

Многолетнюю амплитуду колебаний уровней грунтовых вод $A_{ур}$ осенью устанавливают по графику рис.3, построенному по материалам наблюдений соседней гидрогеологической партии и отражающему природные условия района изысканий. При $H_j = 1,1$ м $A_{ур} = 0,9$ м. Тогда по формуле (27) максимальный расчетный горизонт грунтовых вод

$$H_{ос(max)} = 1,1-(1-0,5)\cdot 0,9 = 0,65 \text{ м}.$$

Определение глубины промерзания земляного полотна под проезжей частью для холодного года повторяемостью 1 раз в 20 лет

Исходные данные. Дорога проходит по территории Московской обл. Конструкция дорожной одежды: цементобетон 24 см на гравийно-песчаной смеси, укрепленной 10% цемента, толщиной 18 см. Грунт земляного полотна - пылеватая супесь. Число пластичности - 6, оптимальная влажность - 13,6%, влажность на границе раскатывания - 14%.

Плотность скелета грунта перед промерзанием 1660 кг/м^3, влажность грунта перед промерзанием 17,6%, плотность скелета грунта после промерзания 1630 кг/м^3, влажность грунта в зоне промерзания 21,7%.

Глубину промерзания устанавливают следующим образом:

1) находят значения климатических параметров для холодного года по табл.8 $a_{темп} = 17,5^{\circ}$С, $a_{пон} = 86$ сут, $a_{зап} = 135$ сут, $a_{пр} = 0,76$ м, $R_{од(max)} = 2,32$ м$^2\cdot$К/Вт;

2) определяют коэффициенты теплопроводности слоев дорожной одежды $\lambda_{од}$; по табл.9 для цементобето-

на и гравийно-песчаной смеси, укрепленной 10% цемента, $\lambda_{оф} = 1{,}86$ Вт/(м·К);

3) определяют коэффициенты теплопроводности мерзлого грунта $\lambda_{гр(м)}$. Без учета массопереноса в расчет включают значения плотности и влажности пылеватой супеси перед промерзанием грунта.

По табл.10

$\lambda_{гр(м)} = 1{,}73$ Вт/(м·К).

С учетом массопереноса в расчет включают данные для грунта после промерзания.

По табл.10 $\lambda_{гр(м)} = 1{,}81$ Вт/(м·К);

4) находят значение температуры льдообразования для грунта $\theta_{л.обр}$ по табл.12 $\theta_{л.обр} = -0{,}1\ ^{\circ}C$;

5) определяют приведенное термическое сопротивление дорожной одежды $R_{од}$. Предварительно находят среднемесячное значение скорости ветра: по табл.3 V = 4 м/с. Затем вычисляют по формуле (37) величину коэффициента теплообмена на поверхности дорожной одежды

$$\alpha = 12\sqrt{4} = 24 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)},$$

после чего определяют по формуле (36) искомую величину термического сопротивления

$$R_{од} = \frac{0{,}24}{1{,}86} + \frac{0{,}18}{1{,}86} + \frac{1}{24} = 0{,}27 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт};$$

6) устанавливают количество замерзшей воды $i_{зм}$. Предварительно вычисляют по формуле (35) содержание незамерзшей воды

$W_{нз} = 0{,}25 \cdot 14 = 3{,}5\%$.

Тогда без учета массопереноса по формуле (39)

$$i_{зм} = (0{,}170-0{,}035)\frac{1660}{1000} = 0{,}23,$$

с учетом массопереноса

$$i_{зм} = (0{,}217-0{,}035)\frac{1630}{1000} = 0{,}30;$$

7) определяют минимальную температуру грунта под

дорожной одеждой $\theta_{min(o)}$. Предварительно вычисляют отношение

$$\frac{R_{og}}{R_{og(max)}} = \frac{0,27}{2,32} = 0,12.$$

Затем по номограмме (см.рис.8) устанавливают искомую температуру грунта. Без учета массопереноса расчет проводят в зависимости от $R_{og}/R_{og(max)} = 0,12$ м и $i_{зм} = 0,23$. При этих значениях $\theta_{min(o)}/a_{темп} = 0,74$. Тогда $\theta_{min(o)} = 0,74 \cdot 17,5 = 13^{\circ}C$.

С учетом массопереноса расчет проводят в зависимости от $R_{og}/R_{og(max)} = 0,12$ и $i_{зм} = 0,3$. При этих значениях $\theta_{min(o)}/a_{темп} = 0,68$. Тогда $\theta_{min(o)} = 0,68 \cdot 17,5 = 11,9^{\circ}C$;

8) находят параметр C, входящий в расчет глубины промерзания. Предварительно вычисляют отношение $\theta_{л.обр}/\theta_{min(o)}$. Для грунта без учета массопереноса получают

$$\frac{\theta_{л.обр}}{\theta_{min(o)}} = \frac{0,1}{13} = 0,008.$$

Для грунта с учетом массопереноса

$$\frac{\theta_{л.обр}}{\theta_{min(o)}} = \frac{0,1}{11,9} = 0,008.$$

Тогда при $\theta_{л.обр}/\theta_{min(o)} = 0,008$ и $h/h_{пр} = 1$ по номограмме рис.9 $C = 0,98$;

9) находят параметры $A'_{пр}$, $B'_{пр}$ и $A''_{пр}$, $B''_{пр}$, входящие в расчет глубины промерзания. Искомые параметры устанавливают по номограммам рис.10. Без учета массопереноса расчет проводят в зависимости от $R_{og}/R_{og(max)} = 0,12$ и $i_{зм} = 0,23$. При этих значениях $A'_{пр} = 0,77$, $B'_{пр} = 2,2$, $A''_{пр} = 0,8$, $B''_{пр} = 2,6$.

С учетом массопереноса расчет проводят в зависимости от $R_{og}/R_{og(max)} = 0,12$ и $i_{зм} = 0,3$. При этих значениях $A'_{пр} = 0,7$, $B'_{пр} = 1,6$, $A''_{пр} = 0,76$, $B''_{пр} = 1,8$;

10) вычисляют по формуле (42) глубину промерзания для грунта без учета массопереноса

$h_{пр} = 0{,}86 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}98 \left[0{,}77 \cdot 2{,}2 + 2{,}8 \left(1 - \frac{86}{135}\right) (0{,}8 \cdot 2{,}6 - 0{,}77 \times 2{,}2)\right] \cdot 1{,}73 = 2{,}31$ м,

с учетом массопереноса

$h_{пр} = 0{,}86 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}98 \left[0{,}7 \cdot 1{,}6 + 2{,}8 \left(1 - \frac{86}{135}\right) (0{,}76 \cdot 1{,}8 - 0{,}7 \times 1{,}6)\right] \cdot 1{,}81 = 1{,}59$ м.

Определение плотности-влажности и пучения грунта

Исходные данные. Дорога проходит по территории Московской обл. Конструкция дорожной одежды: цементобетонное покрытие 24 см, основание 18 см из песка, обработанного 12% цемента, морозозащитный слой толщиной 50 см из кондиционного песка. Грунт земляного полотна – легкий пылеватый суглинок с характеристиками: число пластичности 9, влажность на границе раскатывания 17%, оптимальная влажность 16%, наибольшая плотность скелета грунта, установленная методом стандартного уплотнения, 1790 кг/м^3, коэффициент уплотнения грунта 0,98, плотность частиц грунта 2690 кг/м^3. Грунтовые воды залегают на глубине, при которой влажность грунта перед промерзанием равна полной капиллярной влагоемкости; в летний период влажность равна оптимальной.

По табл.12

$\theta_{л.обр} = -0{,}3^\circ$C; $\theta_а = -0{,}5^\circ$C; $\theta_б = -1^\circ$C; $W_{нз(а)} = 12{,}5\%$; $W_{нз(б)} = 11\%$.

По характеру температурного поля земляного полотна зима делится на три периода: в первый легкий пылеватый суглинок промерзает в течение 70 сут до глубины 1,92 м от верха покрытия при $z_{пр} - z_б = 0{,}1$ м и $z_а - z_б = 0{,}07$ м; во второй, продолжительностью 20 сут, сохраняется постоянная температура на одной и той же глубине при $z_{пр} - z_б = 0{,}3$ м и $z_а - z_б = 0{,}21$ м, во время третьего периода грунт остается в мерзлом состоянии, но температура его повышается. Последний

период продолжается 15 сут при $z_{пр} - z_б = 1{,}4$ м и $z_а - z_б = 1$ м.

Для первого периода зимы определяют градиент незамерзшей пленочной воды по формулам (47) и (48).

$$n = \left(\frac{\lg(0{,}16-0{,}11) - \lg(0{,}125-0{,}11)}{\lg\left(\frac{0{,}10}{0{,}07}\right)}\right) = 3{,}38,$$

$$J_{нз(\sigma)} = 3{,}38\,(0{,}125-0{,}11)\,\frac{0{,}10^{2{,}38}\cdot 0{,}98\cdot 1790}{0{,}07^{3{,}38}\cdot 1000} = 2{,}97.$$

На пучение легкого пылеватого суглинка оказывает влияние дорожная одежда, нагрузка от которой составляет $P = 17{,}2$ гПа. При этой нагрузке по формуле (50) решают функцию нагрузки на грунт. В расчет вводят коэффициент $a_п = 0{,}48$ из табл.13:

$$f(P) = 1 - 0{,}48\,\lg\left(1 + \frac{17{,}2}{9{,}8}\right) = 0{,}79.$$

По графику рис.16 устанавливают коэффициент пучения легкого пылеватого суглинка $K_{пуч} = 0{,}88\cdot 10^{-8}$ м/с и по формуле (49) вычисляют интенсивность пучения водонасыщенного грунта

$$i_{пуч} = 0{,}88\cdot 10^{-8}\cdot 2{,}97\cdot 0{,}79 = 2{,}06\cdot 10^{-8}\text{ м/с}.$$

Устанавливают пучение водонасыщенного грунта за первый период зимы:

$$h_{пуч(\sigma)} = 2{,}06\cdot 10^{-8}\cdot 70\cdot 24\cdot 60\cdot 60 = 0{,}13\text{ м}.$$

Для перехода от пучения водонасыщенного грунта к грунту с влажностью перед промерзанием, равной полной капиллярной влагоемкости, определяют по формуле (52) поправочный коэффициент.

Для этого предварительно вычисляют по формуле (19) полную влагоемкость, а затем и полную капиллярную влагоемкость грунта:

$$W_{пв} = \frac{(2690-0{,}98\cdot 1790)\cdot 1000}{0{,}98\cdot 1790\cdot 2690} = 0{,}198,$$

$$W_{кв} = 0{,}198 - 0{,}03 = 0{,}168,$$

тогда

$$K_v = \left(\frac{0,168-0,160}{0,198-0,160}\right)\left[1-\frac{(0,198-0,168)\cdot 0,98\cdot 1790\cdot 1}{1,09\cdot 1000\cdot 0,13}\right] = 0,133.$$

После этого вычисляют по формуле (51) для первого периода зимы пучение легкого пылеватого суглинка при фактической влажности грунта перед промерзанием:

$$h_{пуч} = 0,13\cdot 0,133 = 0,017 \text{ м}.$$

Аналогичные расчеты проводят для второго и третьего периодов зимы; отличие только в том, что величину $i_{пуч}$ устанавливают с учетом веса мерзлого грунта толщиной 1 м, а при определении коэффициента K_v выражение в квадратных скобках принимают равным единице, так как в этом случае поры грунта полностью заполнены льдом и незамерзшей водой. При этом в формулу (47) включают плотность скелета грунта с учетом его разуплотнения в первый период зимы.

По данным расчетов пучение легкого пылеватого суглинка при фактической влажности грунта перед промерзанием составляет во второй период 0,001 м, а в третий период – менее 0,001 м.

Суммируя эти значения, получают пучение за зиму, равное 0,018 м. Затем вычисляют по формуле (53) коэффициент уплотнения грунта в конце зимы, а по формуле (54) влажность после оттаивания:

$$K_з = \frac{0,98}{1+\frac{0,018}{1}} = 0,96,$$

$$W_{расч} = \frac{(2690-0,96\cdot 1790)\cdot 1000}{1,09\cdot 0,96\cdot 1790\cdot 2690} + 0,08\cdot 0,4\cdot 0,17 = 0,198.$$

После этого устанавливают по номограмме рис. 17 минимальное значение коэффициента уплотнения грунта весной, которое можно ожидать при многократном промерзании-оттаивании в условиях, когда не происходит усадка грунта. Она равна 0,95. Затем по номограмме рис. 18 определяют, что $h_{оттаяв}/h_{пуч} = 0,9$, откуда

$h_{осад} = 0{,}9 \cdot 0{,}018 = 0{,}016$ м.

При этой осадке вычисляют по формуле (56) коэффициент уплотнения грунта весной

$$K_в = \frac{0{,}96}{1 - \frac{0{,}016}{1 + 0{,}018}} = 0{,}97.$$

Для получения плотности грунта в летний период предварительно вычисляют по формуле (57) влажность в весенний период

$$W_в = \frac{(2690 - 0{,}97 \cdot 1790)\ 1000}{0{,}97 \cdot 1790 \cdot 2690} = 0{,}204.$$

Влажность, вычисленная по формуле (57), больше, чем вычисленная по формуле (54), поэтому в качестве расчетной принимают влажность, равную 20,4%.

Затем по формуле (59) определяют относительную усадку грунта летом. В расчет включают коэффициент линейной усадки грунта $a_{ус} = 0{,}3$.

$$\ell_{ус} = 1 - \frac{1 + 0{,}3 \cdot 0{,}16}{1 + 0{,}3 \cdot 0{,}204} = 0{,}01.$$

Подставив эту величину усадки в формулу (58), получают коэффициент уплотнения грунта летом:

$$K_л = \frac{0{,}97}{1 - 0{,}01} = 0{,}98.$$

Определение интенсивности просачивания воды через дренирующую прослойку в нижележащий грунт

Исходные данные. Дорога с двухскатным поперечным профилем и укрепленными обочинами проходит в Московской обл. Ширина половины проезжей части плюс краевая полоса, имеющая ту же конструкцию дорожной одежды, составляет 4 м, ширина обочины без краевой полосы 2 м. Дренирующую прослойку намечено

устроить на всю ширину земляного полотна под дорожной одеждой. Интенсивность впитывания воды в прослойку от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность проезжей части, 0,2 л/(сут·м^2); интенсивность впитывания на участке обочины 1 л/(сут·м^2).

В качестве прослойки будет использован бидим массой 0,4 кг/м^3, укладываемый под нагрузкой 120 кПа. При этих условиях толщина бидима составляет 1,8 мм (см.табл.2), коэффициент фильтрации в поперечном (в плоскости холста) направлении - 60 м/сут.

Поперечный уклон прослойки 20‰, выгоняющий полотнищ на откос 1 м. Земляное полотно, на которое намечено укладывать прослойку, будет возводиться из легкого пылеватого суглинка с коэффициентом фильтрации $18 \cdot 10^{-4}$ м/сут.

Для установления искомых величин разобьем поперечный профиль прослойки (см.рис.2) на шесть участков длиной $\Delta \ell = 1$ м. 1-й участок расположен под дорожной одеждой у оси проезжей части. Для этого участка

$q_{п.б(1)} = 0{,}2$ л/(сут·м^2), $\ell_1 = 6$ м.

По формуле (30) интенсивность просачивания воды через прослойку в грунт на 1-м участке

$$q_{пр(1)} = (0{,}45 - 0{,}02 - \frac{1}{6})\sqrt{\frac{60 \cdot 0{,}2 \cdot 18 \cdot 10^{-4}}{45}} = 0{,}006 \text{ л/(сут·м}^2).$$

По формуле (32) интенсивность стока воды по бидиму с 1-го участка

$q_{ст(1)} = (0{,}2 - 0{,}006) \cdot 1 \cdot 1 = 0{,}194$ л/сут.

По формуле (31) интенсивность поступления воды в прослойку на 2-м участке

$$q_{п.б(2)} = 0{,}2 + \frac{0{,}194}{1{,}1} = 0{,}394 \text{ л/(сут·м}^2).$$

По формуле (30) интенсивность просачивания воды через прослойку в грунт на 2-м участке

$$q_{пр(2)} = (0{,}45 - 0{,}02 - \frac{1}{5})\sqrt{\frac{60 \cdot 0{,}394 \cdot 18 \cdot 10^{-4}}{45}} = 0{,}007 \text{ л/(сут·м}^2).$$

По формуле (32) интенсивность стока воды по биди м у со 2-го участка

$$q_{ст(2)}=(0,394-0,007)\cdot 1\cdot 1=0,387 \text{ л/сут.}$$

Аналогично для 3-го участка $q_{пв(3)}=0,587$ л/(сут·м^2), $q_{пр(3)}=0,007$ л/(сут·м^2), $q_{ст(3)}=0,58$ л/сут, для 4-го участка $q_{пв(4)}=0,78$ л/(сут·м^2), $q_{пр(4)}=0,004$ л/(сут·м^2), $q_{ст(4)}=0,776$л/сут; для 5-го участка $q_{пв(5)}=1,776$ л/(сут·м^2), $q_{пр(5)}=0$, $q_{ст(5)}=1,776$ л/сут; для 6-го участка $q_{пв(6)}=2,776$ л/(сут·м^2), $q_{пр(6)}=0$; $q_{ст(6)}=2776$л/сут.

gost.e-ecolog.ru