МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СОЮЗДОРНИИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Утверждены зам.директора Союздорнии
по научной работе канд.техн.наук
Б.С.Марышевым

Одобрены Главным техническим
управлением Минтрансстроя
(письмо № 37-3-4п от 21.01.81)

МОСКВА 1983

gost.e-ecolog.ru

УДК 625.731.3/.6.001.2(083.131)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. Союздорнии. М., 1983.

Изложены методы расчета притока воды в грунт от атмосферных осадков и грунтовых вод, температурного поля земляного полотна в зимний период, влагонакопления, пучения и осадки грунта, которые позволяют учитывать влияние отдельных конструктивных элементов дороги на водно-тепловой режим, прогнозировать этот режим в выемках и насыпях, в том числе низких, и проектировать инженерные мероприятия по его регулированию в районах с сезонным промерзанием грунтов.

Табл.13, рис.18.

© Государственный всесоюзный дорожный научно-исследовательский институт, 1983

УДК 625.731.3/.6.001.2(083.131)

Предисловие

Снижение объема земляных работ - одна из основных задач при строительстве автомобильных дорог. Регулируя водно-тепловой режим земляного полотна, можно решить эту задачу, а также повысить долговечность дорожной одежды и улучшить транспортно-эксплуатационные качества покрытия в процессе эксплуатации автомобильной дороги.

Улучшение водно-теплового режима позволяет существенно уменьшить высоту насыпи по сравнению с традиционным решением, а также позволяет применять местные песчаные грунты для устройства морозозащитных слоев вместо привозных кондиционных песков.

Возможные объемы снижения земляных работ устанавливают на основе проектирования оптимальной конструкции земляного полотна, которая обеспечивает минимум приведенных затрат, включающих стоимость дорожной одежды и земляного полотна с мероприятиями по регулированию водно-теплового режима, расходы на содержание и ремонт этих элементов дороги, расходы на обеспечение снегонезаносимости дороги в местности, подверженной заносам, расходы на перевозку пассажиров и грузов.

Проектирование оптимальных конструкций земляного полотна в районах с сезонным промерзанием грунтов во II и III дорожно-климатических зонах следует проводить в соответствии с настоящими "Методическими рекомендациями по расчету водно-теплового режима для разработки оптимальной конструкции земляного полотна автомобильных дорог" и "Методическими рекомендациями по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на

основе методов регулирования водно-теплового режима" (Союздорнии. М., 1983).

В настоящем издании рассмотрены методы расчета водно-теплового режима земляного полотна на основе разработанных в Союздорнии теорий впитывания атмосферных осадков и испарения воды из грунтов, теории пучинообразования, основанной на совокупном действии термодинамических сил и объемно-градиентных напряжений в зоне промерзания грунта и на механизме капиллярного подтока влаги к границе льдообразования. Это позволяет учитывать влияние отдельных конструктивных элементов дороги на водно-тепловой режим, прогнозировать этот режим в выемках и насыпях, в том числе низких, проектировать инженерные мероприятия по его регулированию.

Экспериментальные исследования, положенные в основу "Методических рекомендаций", проводились более 20 лет на Нежинской и Ржевской опытных станциях, на полигоне и кольцевом стенде Союздорнии, на многочисленных опытных участках и в лаборатории.

"Методические рекомендации" разработал канд.техн. наук В.И.Рувинский с участием канд.техн.наук М.Дуйшеналиева, инженеров В.И.Зубковой и С.В.Черняева (Союздорнии), канд.техн.наук С.М.Семенова (ВСЕГИНГЕО) и канд.техн.наук В.И.Куканова (МАДИ).

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

I. Общие положения

1.1. Настоящие "Методические рекомендации" следует применять при проектировании автомобильных дорог во II и III дорожно-климатических зонах при разработке оптимальных конструкций земляного полотна на основе регулирования водно-теплового режима в районах с сезонным промерзанием грунтов.

1.2. Конструкцию земляного полотна нужно разрабатывать на основе данных о рельефе местности, грунтово-гидрологических и климатических условиях, запроектированного типа дорожной одежды и планируемых мероприятий по регулированию водно-теплового режима. Нужно также учитывать условия застройки территории и обеспечения снегонезаносимости дороги, ценность сельскохозяйственных земель, темпы строительства, безопасность движения и вписывание дороги в ландшафт.

1.3. При высоте насыпи или глубине выемки, запроектированных по условиям рельефа местности и застройки территории, обеспечения снегонезаносимости дороги и ценности сельскохозяйственных земель, устанавливают тип увлажнения земляного полотна (табл.1) с учетом толщины дорожной одежды, полученной расчетом на прочность[x)] при влажности грунта, равной полной капиллярной влагоемкости и требуемой плотности (согласно СНиП II-Д.5-72).

1.4. "Безопасную" глубину (м) залегания поверхностных и грунтовых вод и верховодки от низа (каменной части) дорожной одежды ($H_{б.ур}$, м) определяют по выражениям:

---

x) Расчет на прочность проводят в соответствии с "Инструкцией по проектированию дорожных одежд нежесткого типа" ВСН 46-72 (М., 1972).

Таблица 1

Тип увлажнения земляного полотна	Основные источники увлажнения	Признаки данного типа увлажнения
1	Атмосферные осадки	Поверхностный сток на местности обеспечен, в выемке продольный уклон дороги не менее 20‰. Грунтовые воды или верховодка залегают на "безопасной" глубине от низа (каменной части[x]) дорожной одежды.
2	Атмосферные осадки + поверхностные воды, застаивающиеся вблизи дороги в осенний и весенний периоды года	Поверхностный сток на местности не обеспечен, в выемке продольный уклон дороги менее 20‰. Отсутствуют специальные инженерные мероприятия по защите земляного полотна от увлажнения поверхностными водами. Положение расчетного горизонта грунтовых вод или верховодки то же, что и при первом типе увлажнения.
3	Атмосферные осадки + грунтовые воды или	Расчетный горизонт грунтовых вод или верховодки залегает выше "безопасной" глу-

[x]) Под каменной частью дорожной одежды понимают ее слои над морозозащитным слоем из песка.

Продолжение табл. 1

Тип увлажнения земляного полотна	Основные источники увлажнения	Признаки данного типа увлажнения
	верховодка или атмосферные осадки + поверхностные воды при круглогодичном их стоянии у подошвы насыпи	бины. Почвы с признаками заболачивания и болотные почвы. Отсутствуют специальные инженерные мероприятия по защите земляного полотна от увлажнения поверхностными и грунтовыми водами и верховодкой

$$H_{б.ур} > h_{мз} + h_o + h_к ,$$

$$H_{б\,ур} > h_{пр} + h_к ,$$

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

h_o – толщина активного слоя земляного полотна;

$h_к$ – высота капиллярного поднятия над расчетным горизонтом поверхностных и грунтовых вод и верховодки;

$h_{пр}$ – глубина промерзания полотна;

$$h_o = (3{,}5 \div 4)D - h_{од} ,$$

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

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

Глубину промерзания вычисляют по формуле (42) от низа (каменной части) дорожной одежды при трех значениях плотности грунта:

требуемой в момент постройки дороги,

соответствующей максимальному коэффициенту пучения (п.6.2, рис.16),

минимальном коэффициенте уплотнения, который можно ожидать после многократного промерзания-оттаивания, когда не происходит усадки грунта (п.6.3, рис.17). В расчет включают влажность грунта, равную полной капиллярной влагоемкости.

Высоту капиллярного поднятия над горизонтом грунтовых вод или верховодкой (п.4.5, рис.6) устанавливают при указанных выше значениях плотности грунта. При круглогодичном стоянии поверхностных вод у подошвы насыпи капиллярное поднятие определяют за годы ожидаемого стояния этих вод.

В качестве расчетных горизонтов грунтовых вод следует принимать их наивысшие уровни весной и осенью в период между капитальными ремонтами дорожной одежды и среднемноголетнее положение в летний период (гл.3).

При наличии верховодки за расчетный уровень этих вод принимают горизонт оглеения.

1.5. Участок местности с необеспеченным поверхностным стоком, на котором выдерживается "безопасное расстояние" от уреза воды до бровки земляного полотна, по условиям увлажнения относят к первому типу.

При отсутствии в летний период среднемноголетнего года воды на поверхности в течение не менее чем 2/3 продолжительности этого периода "безопасное расстояние" принимается для супесей 5-10 м; для легких и легких пылеватых суглинков - 2-5, для тяжелых пылеватых суглинков и глин - не более 2. Меньшие значения следует принимать для грунтов с большим числом пластичности.

При залегании под основанием земляного полотна и на полосе обреза грунтов разных разновидностей в расчет нужно включать бо́льшие значения "безопасных расстояний".

1.6. В зависимости от типа увлажнения земляного полотна назначают мероприятия по регулированию водно-теплового режима. Выбор мероприятий и установление их влияния на водно-тепловой режим земляного полотна следует проводить согласно "Методическим рекомендациям по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов регулирования водно-теплового режима" (Союздорнии. М., 1983).

1.7. Для земляного полотна с рассматриваемым устройством для регулирования водно-теплового режима нужно определить расчетные значения плотности-влажности и пучения грунта при принятой конструкции дорожной одежды. Первоначально в расчет следует вводить плотность грунта в момент постройки дороги и при этой плотности определять эпюру влажности грунта перед промерзанием земляного полотна.

При первом типе увлажнения земляного полотна эпюру влажности устанавливают только от осадков, выпадающих на проезжую часть, обочины и разделительную полосу (пп.4.1-4.4), при втором типе эту эпюру суммируют с эпюрой влажности грунта от поверхностных вод, застаивающихся вблизи дороги осенью; при третьем типе суммируют эпюру влажности от осадков и грунтовых вод или верховодки (п.4.5), а на участках с необеспеченным стоком - от поверхностных вод.

Установив таким образом суммарную эпюру влажности, нужно рассчитать температурное поле (пп.5.1 - 5.4) и определить значения плотности, влажности и пучения грунта для конца зимы (пп.6.1-6.2). Затем следует вычислить плотность после осадки грунта весной (п.6.3), для чего предварительно определить относительную величину этой осадки (п.6.3). После этого нужно установить относительную усадку грунта летом (п.6.3). В расчет вводят влажность грунта под дорож-

ной одеждой в летний период, равную оптимальной при первом и втором типах увлажнения земляного полотна; при третьем типе увлажнения влажность определяют по эпюре влажности (п.4.5). На следующем этапе необходимо вычислить значение коэффициента уплотнения после усадки грунта летом (п.6.3). При совпадении (или разнице не более 1%) этой величины со значением плотности грунта при постройке дороги расчет закончен. В противном случае расчет нужно повторить при плотности грунта перед промерзанием, равной величине, установленной по формуле (58). Набухание грунта осенью не учитывают, так как оно незначительно при влажности летом, равной или более оптимальной. При получении того же значения коэффициента уплотнения грунта в летний период, что и ранее, расчет закончен.

По данным этих расчетов получают искомые значения пучения, влажности и плотности грунта в расчетный период (п.6.2).

1.8. По расчетным значениям плотности и влажности грунтов необходимо установить их прочностные и деформационные характеристики: модуль упругости, угол внутреннего трения и сцепление (согласно "Инструкции" ВСН 46-72).

С учетом этих характеристик следует уточнить по прочности конструкцию дорожной одежды. Затем необходимо вновь установить расчетные значения плотности и влажности грунтов, морозного пучения, повторить расчет на прочность и определить морозоустойчивость дорожной одежды согласно упомянутым выше "Методическим рекомендациям по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов регулирования водно-теплового режима".

Данный вариант заканчивают составлять при толщи-

не дорожной одежды, полученной расчетом на проч - ность, которая равна или меньше величины, рассчитанной по морозоустойчивости. Если это условие не удовлетворено, то следует изменить конструкцию дорожной одежды или выбрать другие мероприятия по регулированию водно-теплового режима земляного полотна и повторить расчет на прочность и морозоустойчивость.

2. Приток воды в грунт от атмосферных осадков

2.1. Приток воды в грунт от атмосферных осадков следует устанавливать для трех периодов. Первый начинается осенью с момента влагонакопления в земляном полотне и заканчивается зимой при устойчивом промерзании грунта, второй имеет место при оттаивании грунтов под проезжей частью и обочинами во время зимних оттепелей, третий начинается весной с момента оттаивания активного слоя земляного полотна и заканчивается при превышении испарения воды над величиной впитывания осадков.

Прогнозировать приток воды в грунт в первый и третий периоды увлажнения следует для расчетного года с наибольшей суммарной продолжительностью выпадения осадков с периодичностью повторения 1 раз за срок службы покрытия между капитальными ремонтами. Этот срок для капитальных типов покрытий можно принять равным 20 годам. Прогнозировать приток осадков в грунт во второй период увлажнения нужно для трех расчетных лет, включающих наиболее теплый и наиболее холодный годы с периодичностью повторения 1 раз в 20 лет и год со среднемноголетними температурами.

2.2. Для расчета притока воды в грунт необходимы следующие данные:

типы покрытия проезжей части и укрепления обочин, а также размеры конструктивных элементов дороги: ширина проезжей части и обочин, продольный уклон дороги, поперечный уклон проезжей части и обочин (проектные данные);

характеристика грунтов земляного полотна: коэффициент фильтрации, полная капиллярная влагоемкость, влажность на границе текучести и оптимальная влажность. При ориентировочных расчетах - коэффициент уплотнения грунта и оптимальная влажность;

метеорологические факторы в последний месяц осени[x], а именно: количество осадков и число дождей, суммарная продолжительность выпадения осадков и дефицит влажности воздуха заданной обеспеченности, среднемесячные значения интенсивности дождя и скорости ветра;

метеорологические факторы в первый месяц весны[x] (такие же, как и в последний месяц осени);

метеорологические факторы в зимний период, а именно: суммарная продолжительность осадков, выпадающих в виде дождя и снега, за каждый месяц зимы по среднемноголетним данным, среднемесячные температуры воздуха зимой для трех лет: наиболее теплого и наиболее холодного года с периодичностью повторения 1 раз в 20 лет и год со среднемноголетними температурами.

При установлении характерных участков дороги для расчета притока воды в земляное полотно необходимо учитывать подразделение территории II и III дорожно-климатических зон СССР на районы по условиям увлажнения осадками (табл.2). В основу районирования положены среднемноголетние значения дефицита влаж-

---

x) За конец осени и начало весны принята дата устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через $0^{\circ}C$.

Таблица 2

Номер района (дорожно-климатическая зона)	Географические границы района
1(II)	Европейская часть II дорожно-климатической зоны западнее линии: Мерсрагс (ЛатССР) - Биржай-Укмерге-Лаздияй (ЛитССР)
2(II)	Европейская часть II дорожно-климатической зоны до границы районов 1(II) и 3(II)
3(II)	Европейская часть II дорожно-климатической зоны к югу от линии: Ковров (Владимирская обл.) - Чухлома (Костромская обл.) - Никольск (Вологодская обл.) - Опарино - Лойно (Кировская обл.) - Кудымкар (Коми-Пермяцкий нац.округ) - Оса (Пермская обл.) Азиатская часть II дорожно-климатической зоны севернее линии: Североуральск (Свердловская обл.) - Урай-Болчары (Ханты-Мансийский автономный округ) - Кунтики - Новая Жизнь (Томская обл.)
4(II)	Азиатская часть II дорожно-климатической зоны к югу от границы района 3(II) до линии: Артемовский-Тугулым (Свердловская обл.) - Омутинский (Тюменская обл.)
5(II)	Азиатская часть II дорожно-климатической зоны к югу от границы района 4(II)
2(III)	Европейская часть III дорожно-климатической зоны севернее линии: Окница (Молдавская ССР) - Лохвица (Полтавская обл.) - Обоянь (Курская обл.) - Задонск (Липецкая обл.) - Ковров (Владимирская обл.) - Оса (Перм -

Продолжение табл. 2

Номер района (дорожно-климатическая зона)	Географические границы района
	ская обл.) - Аскино (Башкирская АССР) - Куса (Челябинская обл.)
3 (III)	Европейская часть III дорожно-климатической зоны до границы районов 2 (III) и 4 (III)
4 (III)	Европейская часть III дорожно-климатической зоны к югу от линии: Новоспасское - Ульяновск (Ульяновская обл.) - Чистополь (Татарская АССР) - Сарапул (Удмуртская АССР) - Люртюли - Миндяк (Башкирская АССР)
	Азиатская часть III дорожно-климатической зоны между линиями: Называевск - Марьяновка (Омская обл.) - Вазой (Томская обл.) - Лебедево (Новосибирская обл.)
5 (III)	Азиатская часть III дорожно-климатической зоны к западу от границы района 4 (III) до линии Фершампенуаз-Аргаяш (Челябинская обл.)

ности воздуха и осадков, выпавших в первый весенний и последний осенний месяцы. По этому признаку территория II и III дорожно-климатических зон подразделена на 5 районов. При расчете притока воды в грунт можно использовать метеорологические данные, приведенные в табл.3 для указанных районов по условиям увлажнения осадками.

Для зимы суммарная продолжительность осадков за

Таблица 3

Номер района	Город	Начало и конец периода	Продолжительность осадков 5%-ной обеспеченности, ч	Средняя интенсивность дождя, мм/мин	Число дождей 5%-ной обеспеченности	Дефицит влажности воздуха 5%-ной обеспеченности, гПа	Средняя скорость ветра, м/с
		Первый весенний месяц					
2	Архангельск	21/1У-21/У	210	0,006	60	1,2	4
	Вильнюс	21/III-20/1У	230	0,006	55	1,1	4
	Ленинград	3/1У-3/У	210	0,006	55	1,5	4
	Москва	3/1У-3/У	165	0,007	50	1,8	4
	Ржев	5/1У-5/У	200	0,006	60	1,7	4
	Сыктывкар	13/1У-13/У	250	0,005	55	1,5	4
	Чернигов	21/III-20/1У	180	0,008	50	1,1	4
3	Александровское	25/1У-25/У	180	0,007	50	2,1	5
	Бугульма	10/1У-10/У	200	0,007	55	2,0	5
	Киров	11/1У-11/У	190	0,007	55	2,0	5
	Тамбов	31/III-30/1У	180	0,007	55	1,7	4
4	Свердловск	10/1У-10/У	190	0,005	55	1,8	6
	Тюмень	7/1У-7/У	150	0,006	40	2,1	4
5	Минусинск	8/1У-8/У	100	0,007	40	2,2	3
	Омск	14/1У-14/У	110	0,009	45	2,0	5

Продолжение табл. 3

Номер района	Город	Начало и конец периода	Продолжительность осадков 5%-ной обеспеченности, ч	Средняя интенсивность дождя, мм/мин	Число дождей 5%-ной обеспеченности	Дефицит влажности воздуха 5%-ной обеспеченности, гПа	Средняя скорость ветра, м/с
		Последний осенний месяц					
2	Архангельск	20/IX–20/X	270	0,007	80	0,5	5
	Вильнюс	21/X–20/XI	230	0,006	60	0,4	4
	Ленинград	11/X–10/XI	240	0,007	70	0,8	4
	Москва	5/X–4/XI	210	0,007	55	0,9	4
	Ржев	5/X–4/XI	230	0,005	65	0,8	4
	Сыктывкар	15/IX–15/X	380	0,005	80	0,6	4
	Чернигов	18/X–17/XI	200	0,007	40	0,5	4
3	Александровское	14/IX–14/X	290	0,006	70	0,9	5
	Бугульма	23/IX–23/X	250	0,006	55	1,1	5
	Киров	21/IX–21/X	280	0,006	65	0,9	5
	Тамбов	7/X–6/XI	230	0,006	60	1,0	4
4	Свердловск	18/IX–18/X	280	0,005	70	1,0	6
	Тюмень	21/IX–21/X	240	0,005	55	1,0	4
5	Минусинск	18/IX–18/X	120	0,008	45	1,2	3
	Омск	20/IX–20/X	150	0,006	45	1,1	4

месяц $\bar{T}_q$, мин, выпадающих в виде дождя, устанавливается по формулам:

$$\bar{T}_q = T_{q.сн}\left(1 - \frac{50 + K_q \bar{\theta}_{ср}}{100}\right), \qquad (1)$$

$$\bar{T}_q = T_{q.сн}\left(1 - \frac{80 + K_q \bar{\theta}_{ср}}{100}\right), \qquad (2)$$

где $T_{q.сн}$ – суммарная продолжительность осадков за месяц, выпадающих в виде дождя и снега, по среднемноголетним данным, мин;

K_q – коэффициент, $1/^{\circ}C$;

$\bar{\theta}_{ср}$ – среднемесячная температура воздуха в холодный и теплый годы и год со среднемноголетними температурами, $^{\circ}C$;

$\bar{\theta}_{ср}$, $^{\circ}C$	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12
K_q	12	11	9,5	7,5	6	5	4

Формулу (1) следует применять при расчете продолжительности осадков на европейской части территории II и III дорожно-климатических зон; формулу (2) – в районах Восточной Сибири.

Число дождей зимой m_q в зависимости от среднемесячной температуры воздуха $\bar{\theta}_{ср}$ приведено в табл.4.

Таблица 4

$\bar{\theta}_{ср}$, $^{\circ}C$	0	-2	-4	-6	-8	-10	-12
m_q	7	7	6	5	4	3	2

2.3. Приток воды в грунт в первый период увлажнения атмосферными осадками следует определять по формулам:

$$q'_{атм(пр.ч)} = 10^{-3} a_{пр} H'_{бп(пр.ч)} \bar{\omega}_{ер}, \qquad (3)$$

$$q'_{атм(об)} = 10^{-3} a_{пр}\left(H'_{бп(об)} - H'_{исп(об)}\right)\bar{\omega}_{ер}, \qquad (4)$$

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

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

$a_{пр}$ – коэффициент, учитывающий дополнительный приток воды, поступающей в грунт до и после расчетного месяца, безразмерная величина; $a_{пр} = 1{,}3$;

$H'_{вп(пр.ч)}$ – количество воды, впитывающейся в последний осенний месяц расчетного года в грунт земляного полотна под проезжей частью, мм;

$H'_{вп(об)}$ – то же, на обочинах;

$H'_{исп(об)}$ – количество воды, испаряющейся из грунта земляного полотна на обочинах в последний осенний месяц расчетного года, мм;

$\bar{\omega}_{гр}$ – площадь, м^2 ($\bar{\omega}_{гр} = 1$ м^2).

Приток воды в грунт на разделительной полосе дороги устанавливают, как и для обочины, по формуле (4), но в расчет вводят значения конструктивных элементов для разделительной полосы. При отсутствии на разделительной полосе лотков, дренажей и других устройств по сбору и отводу поверхностной воды расчет проводят по формуле

$$q'_{атм(р.п)} = 10^{-3} a_{пр} \left(H'_{g} - H'_{исп(р.п)}\right) \bar{\omega}_{гр}, \qquad (5)$$

где $q'_{атм\,(р.п)}$ – приток воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на разделительную полосу в осенний период влагонакопления и зимой до устойчивого промерзания грунта, м^3 на 1 м^2 дороги;

H'_g – количество атмосферных осадков, выпадающих в последний осенний месяц расчетного года, мм;

$H'_{исп\,(р.п)}$ – количество воды, испаряющейся из грунта на разделительной полосе дороги в последний осенний месяц расчетного года, мм.

Приток воды в грунт во второй период увлажнения атмосферными осадками следует определять по формулам:

$$q''_{атм\,(пр.ч)} = 10^{-3} \sum H''_{вп(пр.ч)}\, \bar{\omega}_{гр}\,; \qquad (6)$$

$$q''_{атм\,(об)} = 10^{-3} \sum H''_{вп(об)}\, \bar{\omega}_{гр}\,, \qquad (7)$$

где $q''_{атм\,(пр.ч)}$ – приток воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность проезжей части в период зимних оттепелей, м^3 на 1 м^2 дороги;

$q''_{атм\,(об)}$ – приток воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обочин, и от стока воды с проезжей части на обочину в период зимних оттепелей, м^3 на 1 м^2 дороги;

$H''_{вп(пр.ч)}$, $\Sigma H''_{вп(пр.ч)}$ – количество воды, впитывающейся в грунт земляного полотна под проезжей частью соответственно в течение месяца и за весь зимний период расчетного года, мм;

$H''_{вп(об)}$, $\Sigma H''_{вп(об)}$ – то же, на обочинах.

Приток воды в грунт в третий период увлажнения атмосферными осадками следует определять по формулам:

$$q^{III}_{атм\,(пр.ч)} = 10^{-3} H^{III}_{вп(пр.ч)} \bar{\omega}_{гр}\ ; \qquad (8)$$

$$q^{III}_{атм\,(об)} = 10^{-3}\left(H^{III}_{вп(об)} - H^{III}_{исп(об)}\right)\bar{\omega}_{гр}, \qquad (9)$$

где $q^{III}_{атм\,(пр.ч)}$ – приток воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность проезжей части весной в период оттаивания грунта, $м^3$ на 1 $м^2$ дороги;

$q^{III}_{атм\,(об)}$ – приток воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на поверхность обочин, и от стока воды с проезжей части на обочину весной в период оттаивания грунта, $м^3$ на 1 $м^2$ дороги;

$H^{III}_{вп(пр.ч)}$ – количество воды, впитывающейся в первый весенний месяц расчетного года в грунт земляного полотна под проезжей частью, мм;

$H^{III}_{вп(об)}$ – то же, на обочинах, мм;

$H^{III}_{исп(об)}$ – количество воды, испаряющейся из грунта земляного полотна на обочинах в первый весенний месяц расчетного года, мм;

Следует иметь в виду, что атмосферные осадки, выпадающие во второй и третий периоды увлажнения, практически не влияют на влажность глинистых грунтов в слоях земляного полотна, в которых происходило морозное пучение. В таких слоях грунты при оттаивании дают осадку, во время которой их поры полностью заполняются водой с частичным ее отжатием в морозозащитный слой. При таких условиях атмосферные осадки аккумулируются в морозозащитном слое и не поступают в нижележащий грунт. По тем же причинам осадки практически не влияют на влажность глинистых грунтов в конструкциях без морозозащитного слоя из песка.

2.4. Впитывание воды в грунт следует определять

за последний осенний и первый весенний месяцы расчетного года повторяемостью 1 раз в 20 лет и для каждого месяца зимы наиболее холодного и наиболее теплого годов с периодичностью повторения 1 раз в 20 лет, а также года со среднемноголетними температурами.

Последовательность расчета впитывания воды

Суммарную величину смачивания поверхности проезжей части и обочин $H_{см}$, мм, определяют по формулам:

$$H_{см} = a_{см} \cdot m_g \sqrt[3]{d \frac{\bar{T} - T_g}{m_g}} ; \qquad (10)$$

$$H_{см} \leq m_g \cdot max h_{см} , \qquad (11)$$

где $a_{см}$, $max h_{см}$ – параметры, учитывающие тип покрытия и состояние грунтовой поверхности;

m_g – число дождей расчетной повторяемости;

d – дефицит влажности воздуха той же повторяемости, гПа;

T_g – суммарная продолжительность осадков той же повторяемости, мин;

$\bar{T}$ – продолжительность расчетного периода (месяца), мин.

Величины параметров, учитывающих тип покрытия и состояние грунтовой поверхности, приведены ниже.

Покрытие	$a_{см}$	$max h_{см}$
асфальтобетонное	0,01	0,5
цементобетонное	0,02	1,0
Грунтовая обочина		
оголенная	0,04	1,5
с травяным покровом средней густоты	0,10	3,0
с густым травяным покровом	0,15	4,0

Величину $H_{см}$ устанавливают для первого и третьего периодов увлажнения атмосферными осадками, для второго периода $H_{см} = 0$.

Суммарное количество воды, впитывающейся в покрытие $H_{вп(о)}$, мм, определяют по формуле

$$H_{вп(о)} = a_o m_g \ln(1 + b_o i_g) 10^{0{,}4 \ln t_{вп(о)}}, \qquad (12)$$

где a_o – коэффициент, учитывающий тип и состояние покрытия (для асфальтобетонных покрытий, находящихся в удовлетворительном состоянии, $a_o = 0{,}003$, для цементобетонных $a_o = 0{,}013$);

b_o – коэффициент, учитывающий степень заполнения влагой швов, микротрещин и пор бетонного камня перед дождем (для осеннего периода $b_o = 80$; для весеннего $b_o = 100$);

i_g – средняя интенсивность дождя, мм/мин;

$t_{вп(о)}$ – продолжительность впитывания воды в покрытие, мин;

$$t_{вп(о)} = \frac{i_g T_g - H_{см(пр.ч)}}{i_g m_g}, \qquad (13)$$

где $H_{см(пр.ч)}$ – суммарная величина смачивания поверхности проезжей части, мм; определяется по формулам (10) и (11).

При возникновении трещин в асфальтобетонном покрытии следует принимать значение коэффициента a_o таким же, как для цементобетонного покрытия.

Суммарное количество воды, впитывающейся в грунт земляного полотна под проезжей частью $H_{см(пр.ч)}$, мм, вычисляют по выражениям:

при $\bar{H}_{вп} \geq A_{og} H_{вп(о)}$ $\quad H_{вп(пр.ч)} = A_{og} H_{вп(о)}$, (14)

при $\bar{H}_{вп} < A_{og} H_{вп(о)}$ $\quad H_{вп(пр.ч)} = \bar{H}_{вп}$, (15)

где $H_{бп}$ – количество воды, которое может впитаться в грунт, покрытый водой, в течение всего рассматриваемого периода, мм (пп.4.1–4.3);

$A_{оg}$ – коэффициент, учитывающий испарение воды из дорожной одежды и нижележащего грунта и аккумуляцию влаги в слоях дорожной одежды в рассматриваемый период.

При расчете впитывания за месяц могут быть приняты следующие значения коэффициента $A_{оg}$ в зависимости от дефицита влажности воздуха d, гПа:

d	0	1	2	3	4
$A_{оg}$	1,0	0,7	0,3	0,2	0,1

Интенсивность поступления воды на обочину $i_{п.б}$, мм/мин, определяется по формуле

$$i_{п.б} = i_g + \frac{\bar{б}}{\bar{а}} \cdot i_{ст(о)} , \qquad (16)$$

где $\bar{б}$ – ширина односкатной или половины двускатной проезжей части по направлению стока воды, м;

$\bar{а}$ – ширина обочины по направлению стока воды, м;

$i_{ст(о)}$ – интенсивность стока воды с проезжей части на обочину, мм/мин.

Для равнинных участков можно принять $\bar{б} = б$ и $\bar{а} = а$, где $б$ и $а$ соответственно ширина односкатной или половины двускатной проезжей части и ширина обочины, м.

$$i_{ст(о)} = i_g - \frac{H_{бп(о)}}{m_g t_{бп(о)}} . \qquad (17)$$

Коэффициент впитывания воды в грунт земляного полотна C рассчитывают по выражению

$$C = 0{,}6\frac{\sqrt[3]{K_ф}}{W_т^2}\left(1-\sqrt{\frac{W_{опт}}{W_{кв}}}+30K_ф\right), \qquad (18)$$

где $K_ф$ – коэффициент фильтрации, м/сут;

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

$W_{опт}$ – оптимальная влажность грунта, доли единицы;

$W_{кв}$ – полная капиллярная влагоемкость грунта, доли единицы; определяется по пробе грунта, подвергавшейся испытанию на фильтрацию.

При ориентировочных расчетах коэффициент C можно определять по графику (рис.1).

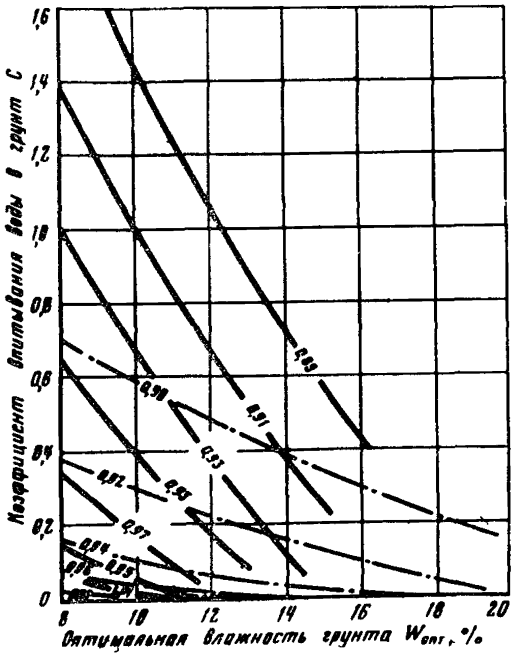


Рис.1. Номограмма для определения коэффициента впитывания воды в грунт земляного полотна C : ——–супеси; — · — –суглинки и глины. Цифры на кривых – коэффициенты уплотнения грунта

Полную капиллярную влагоемкость можно принять равной полной влагоемкости ($W_{n.б}$, доли единицы) минус 0,04; 0,05; 0,06 соответственно при коэффициенте уплотнения 1; 0,98; 0,95 для песков и супеси и 0,02; 0,03; 0,04 при тех же значениях плотности для суглинков и глин:

$$W_{nб} = \frac{(\rho_{гр} - \rho_{ск})\rho_в}{\rho_{гр} \cdot \rho_{ск}}, \qquad (19)$$

где $\rho_{гр}$, $\rho_{ск}$, $\rho_в$ – соответственно плотность частиц грунта, скелета грунта и воды, кг/м^3.

При расчете по формуле (19) можно использовать осредненные значения плотности частиц грунта, приведенные ниже.

	$\rho_{гр}$, кг/м^3
Пылеватая супесь	2660
Легкая супесь	2680
Легкий пылеватый суглинок	2690
Легкий суглинок	2700
Тяжелый суглинок	2710
Пылеватая глина	2720
Жирная глина	2740

Интенсивность впитывания в грунтовые обочины $i_{вп}$, мм/мин, составит

при $i_{nб} \leq 0{,}02C \quad i_{вп} = i_{nб}$, (20)

при $i_{nб} > 0{,}02C \quad i_{вп} = C\left(0{,}02 + 10^{0{,}02 + 0{,}68 \lg \frac{i_{nб} - i_{вп}}{\varphi(J)}}\right)$, (21)

где $\varphi(J)$ – функция уклона поверхности, приведенная в табл.5.

Для облегчения расчета интенсивность впитывания можно определять по номограмме (рис.2) методом подбора. Для этого при заданном значении $i_{ст}$ – ин –

тенсивности стока воды с обочины, мм, устанавлива - ют по графику величину $\mathcal{J}_{вп}$. Затем вычисляют вели - чину $i_{вп}$ по формулам: $i_{вп} = (\mathcal{J}_{вп} + 0{,}02)C$ и $i_{вп} = i_{п.в} - i_{ст}$. При равенстве обоих значений $i_{вп}$ подбор закончен.

Таблица 5

$\mathcal{J}$,‰	$\varphi(\mathcal{J})$	$\mathcal{J}$,‰	$\varphi(\mathcal{J})$	$\mathcal{J}$,‰	$\varphi(\mathcal{J})$	$\mathcal{J}$,‰	$\varphi(\mathcal{J})$
2	1,59	8	1,82	50	3,02	200	5,62
3	1,66	9	1,85	60	3,17	300	6,96
4	1,70	10	1,86	70	3,47	400	7,80
5	1,74	20	2,14	80	3,59	600	9,00
6	1,78	30	2,40	90	3,80	800	9,50
7	1,80	40	2,75	100	3,98	1000 и более	10,00

Суммарное количество воды, впитывающейся в грунт земляного полотна на обочинах $H_{вп(об)}$, мм, следует устанавливать по формуле

$$H_{вп(об)} = A_{укр} i_{вп} \left[T_q - \left(\frac{H_{см(пр.ч)}}{i_q} + \frac{H_{см(об)} - H_{см(пр.ч)}}{i_{п.в}} \right) \right], \qquad (22)$$

где $A_{укр}$ – коэффициент, учитывающий влияние типа укрепления обочин на количество впитывающейся в грунт воды (значения $A_{укр}$ приведены в табл.6);

$H_{см(об)}$ – суммарная величина смачивания поверхности обочины, мм, определяемая по формулам (10) и (11).

2.5. Испарение воды из грунта земляного полотна следует определять за последний осенний и первый весенний месяцы расчетного года повторяемостью 1 раз в 20 лет. Величина испарения через обочины $H_{исп(об)}$, мм, определяется по выражению

$$H_{исп(об)} = B_{укр} i_{исп} T_{исп}, \qquad (23)$$

где $B_{укр}$ – коэффициент, учитывающий влияние типа укрепления обочин на процесс испарения (табл.6);

$i_{исп}$ – интенсивность испарения воды через неукрепленные (грунтовые) обочины, мм/мин;

$$i_{исп} = 25 \cdot 10^{-5} d \lg\left(1 + \frac{80}{d}\right)\left(1 + 0{,}15\,V\right), \qquad (24)$$

где V – скорость ветра, м/с; $V \leq 5$ м/с;

$T_{исп}$ – продолжительность периода испарения, мин,

$$T_{исп} = \bar{T} - T_{д}. \qquad (25)$$

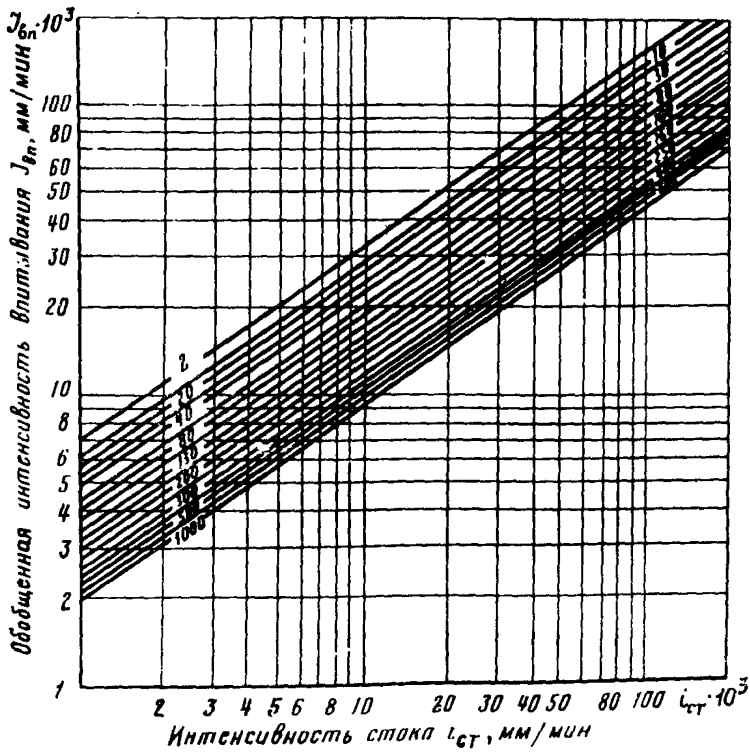


Рис.2. Номограмма для определения интенсивности впитывания воды в грунт земляного полотна. Цифры на кривых – уклон поверхности, ‰

Таблица 6[x]

Характеристика обочины	Величина коэффициента	
	$A_{укр}$	$B_{укр}$
Неукрепленная (грунтовая)	1,00	1,00
Укрепленная щебнем при плотности, кг/м^3		
1820	0,90	0,55
1920	0,80	0,50
2000	0,55	0,40
2180	0,40	0,35
Укрепленная песчано-гравийной смесью	0,60	0,70

3. Расчетные горизонты грунтовых вод[xx]

3.1. Для построения эпюры влажности грунтов (п.4.5) следует определять три расчетных горизонта грунтовых вод: наивысшие уровни грунтовых вод осенью и весной в период между капитальными ремонтами и среднемноголетнее положение в летний период. Гид-

[x] Таблица составлена В.И.Кукановым.

[xx] Методика прогнозирования расчетных горизонтов грунтовых вод написана С.М.Семеновым.

рогеологический прогноз осуществляют на базе многолетних наблюдений за режимом грунтовых вод по опорной наблюдательной сети Министерства геологии СССР и других ведомств, а также данных наблюдений за период изысканий. Обязательны региональные оперативные прогнозы режима грунтовых вод, составляемые ВСЕГИНГЕО.

3.2. При наличии многолетних (не менее 20 лет) наблюдений за режимом грунтовых вод определение расчетных уровней начинают с формирования на базе имеющихся рядов наблюдений выборок, состоящих из уровней грунтовых вод на период промерзания зоны аэрации.

Конкретно расчетные наивысшие уровни следует определять по кривой обеспеченности, построенной графически на клетчатке вероятностей.

Вероятность превышения наивысших уровней на период промерзания зоны аэрации P, %, определяют по формуле

$$P=\frac{m}{n+1}100, \qquad (26)$$

где m – порядковый номер ранжированных (в порядке их убывания) уровней подземных вод;

n – число лет наблюдений.

Результаты расчета используют для построения кривой обеспеченности. При этом применяют вероятностную бумагу, на которой кривые приобретают характер спрямленных линий (в пределе прямой линии), что весьма облегчает их экстраполяцию.

С построенных таким образом интегральных кривых распределений для каждой наблюдательной скважины путем экстраполяции (продолжения кривой распределения в соответствии с характером расположения точек)

снимают значения уровней грунтовых вод интересующей обеспеченности.

Если ряд наблюдений включает менее 20 лет, то нужно его удлинять по данным о пункте-аналоге или по гидрометеорологическим факторам.

Аналог является эффективным и связь считается удовлетворительной для удлинения, если уравнение связи отвечает критериям Фишера и критерию Стьюдента, а коэффициенты парной или множественной корреляции являются существенно значимыми.

Аналогичную методику следует применять при определении расчетного горизонта грунтовых вод весной.

3.3. При отсутствии многолетних наблюдений за режимом грунтовых вод на месте изысканий расчетные уровни определяют, используя разовые краткосрочные замеры в период изысканий и прогнозы, составляемые ВСЕГИНГЕО. Желательно, чтобы краткосрочные замеры захватывали по времени позднеосенний период, т.е. момент, когда зона аэрации начинает промерзать.

Максимально возможный расчетный уровень грунтовых вод (минимальная глубина залегания от поверхности земли) $H_{\alpha(max)}$, м, определяют по формуле

$$H_{\alpha(max)} = H_j - (1 - \lambda_н) A_{ур}, \qquad (27)$$

где H_j – глубина залегания уровня грунтовых вод на период изысканий, приуроченных ко времени промерзания зоны аэрации, м;

$\lambda_н$ – коэффициент относительного положения уровня грунтовых вод, безразмерная величина (определяется по карте прогнозов ВСЕГИНГЕО);

$A_{ур}$ – амплитуда многолетних колебаний уровня грунтовых вод, м.

Коэффициент $\lambda_н$ показывает, какую часть много-

летней амплитуды $A_{ур}$ составляет в данном году отклонение уровня грунтовых вод от наиболее низкого за период наблюдений. Диапазон изменения коэффициента от 0 до 1. При коэффициенте, равном нулю, уровень грунтовых вод в данном году занимает минимальное в многолетнем ряду положение и, наоборот, при наивысшем за период наблюдений уровне коэффициент $\lambda_н$ равен единице.

В распоряжении гидрогеологических режимных партий Министерства геологии СССР имеются для основных гидрогеологических районов страны опорные графики зависимости амплитуд многолетних колебаний фазовооднородных уровней от глубины залеганий грунтовых вод. Имея такой график, можно для нужной глубины и подходящего литологического состава грунтов зоны аэрации и водовмещающих пород установить наиболее вероятное значение амплитуды многолетних колебаний уровня грунтовых вод (рис. 3).

Более сложным для определения расчетных уровней является случай, когда изыскания и соответственно краткосрочные замеры осуществляются в весенний или летний периоды.

Если замеры приурочиваются к периоду формирования весенних максимальных уровней, то процедура определения расчетных уровней распадается на два этапа.

На первом этапе по расчетному соотношению (27) определяют весенний максимальный уровень. Из серии уровней, полученных в период весенних изысканий, в качестве H_i выбирается наивысший. Коэффициент относительного положения уровня грунтовых вод $\lambda_н$ нужно брать с карты прогнозов весенних максимальных уровней грунтовых вод, составляемых ВСЕГИНГЕО, или же вычислять по ближайшей к району исследований репрезентативной многолетней наблюдательной скважине-аналогу.

На втором этапе от значений весенних максимальных уровней, рассчитанных по этой методике, переходят к интересующему уровню на начало промерзания зоны аэрации. Для подавляющей части территории СССР зеркало грунтовых вод в осенне-зимний период располагается ниже, чем в весеннее время, вследствие чего задача приведения сводится к вычитанию поправки из величины весенних максимальных уровней. Величина поправки равняется амплитуде летне-осеннего спада. Последняя устанавливается по ближайшей наблюдательной скважине, расположенной в сходных природных условиях.

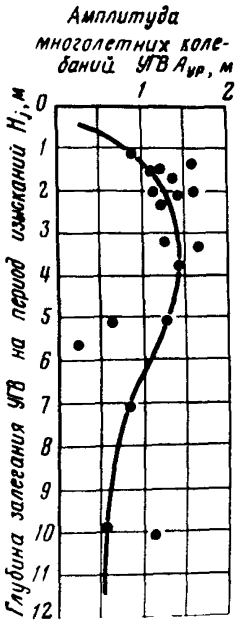


Рис.3. График зависимости амплитуды многолетних колебаний осенне-зимнего уровня грунтовых вод от глубины их залегания

4. Эпюры влажности грунтов перед промерзанием земляного полотна

4.1. Для прогноза эпюры влажности необходимы следующие данные: значения удельных движущих сил менисков и коэффициентов просачивания воды по группам капилляров, плотность скелета грунта, величина полной капиллярной влагоемкости и оптимальная влажность грунта, температура воды, продолжительность перемещения воды в грунтах. Помимо этого нужно знать конструкцию дорожного полотна, положение горизонта грунтовых (см. гл. 3) и поверхностных вод, размер притока атмосферных осадков в грунт (см. гл. 2).

Температура незначительно влияет на перемещение капиллярной воды, поэтому для осени и весны в расчетах можно использовать средние значения температуры, равные 5°С. Значения удельных движущих сил менисков и коэффициентов просачивания нужно устанавливать экспериментально[x]. При ориентировочных расчетах можно использовать значения, приведенные в табл.7.

Эпюру влажности грунта получают по данным расчета глубин просачивания воды (S^{I}, S^{II}, S^{III}, S^{IV}, м) по четырем группам капилляров (рис.4), каждая из которых объединяет капилляры с одинаковыми размерами поперечного сечения (I, II, III, IУ – номера групп капилляров).

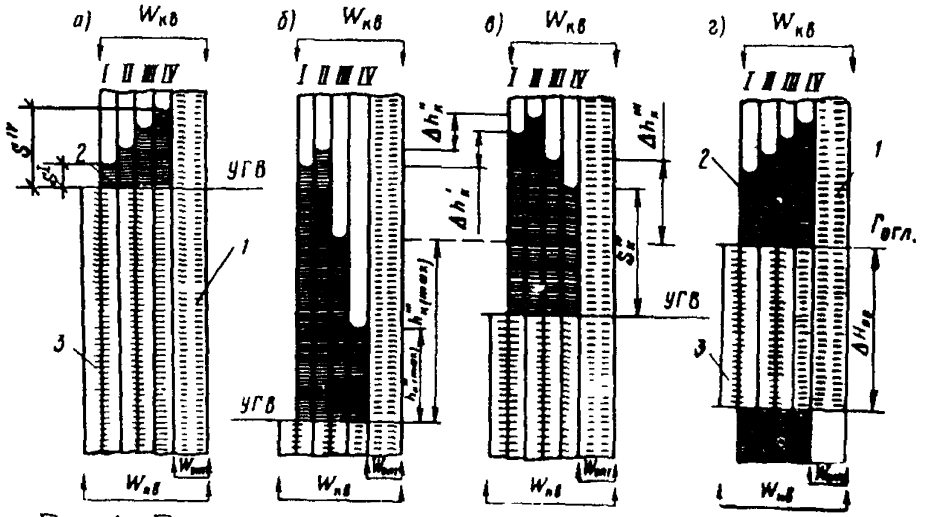


Рис.4. Расчетные схемы увлажнения грунтов грунтовыми водами весной (а), летом (б), осенью (в) и верховодкой в осенний период (г); вода связанная (1); капиллярная (2); свободная гравитационная (3). Остальные обозначения см. ниже.

x) Методика определения показателей капиллярных свойств грунта приведена в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна" (М.: Транспорт, 1982).

Грунт	Коэффициент уплотнения грунта	Показатели	
		I	
		$q_{к(10)}$	$K_{w(10)}$
Пески мелкие и пылеватые	1,0	60	$140 \cdot 10^{-8}$
Супеси легкие крупные и легкие, супеси пылеватые и тяжелые пылеватые	0,90	105	$100 \cdot 10^{-8}$
	0,92	110	$65 \cdot 10^{-8}$
	0,95	135	$25 \cdot 10^{-8}$
	0,97	170	$5 \cdot 10^{-8}$
	0,90	175	$25 \cdot 10^{-8}$
Суглинки легкие и легкие пылеватые	0,92	200	$15 \cdot 10^{-8}$
	0,96	250	$5 \cdot 10^{-8}$
	0,98	280	$10 \cdot 10^{-9}$
Суглинки тяжелые и тяжелые пылеватые, глины	0,92	145	$10 \cdot 10^{-8}$
	0,96	340	$60 \cdot 10^{-10}$
	0,98	615	$65 \cdot 10^{-11}$

Примечание. $q_{к(10)}$ – удельная движущая сила м/с, при температуре 10°С.

Каждая группа капилляров характеризуется своими значениями удельной движущей силы мениска $q_к$, Па, и коэффициента просачивания воды в грунте K_w, м/с.

Величины S', S'', S''', S^{IV} являются средними значениями ординат в интервале влажности $\left(\frac{W_{кв} - W_{опт}}{4}\right)$.

Для получения монотонной зависимости $W = f(S)$ нужно провести кривую таким образом, чтобы площадь, заключенная между кривой и осью W, была равна площади ступенчатой эпюры влажности грунта.

Таблица 7

капиллярных свойств грунта по группам капилляров

II		III		1У	
$q_{к(10)}$	$K_{w(10)}$	$q_{к(10)}$	$K_{w(10)}$	$q_{к(10)}$	$K_{w(10)}$
55	$200\cdot10^{-8}$	50	$240\cdot10^{-8}$	45	$270\cdot10^{-8}$
90	$165\cdot10^{-8}$	85	$200\cdot10^{-8}$	80	$235\cdot10^{-8}$
85	$135\cdot10^{-8}$	70	$185\cdot10^{-8}$	60	$225\cdot10^{-8}$
80	$65\cdot10^{-8}$	60	$110\cdot10^{-8}$	50	$150\cdot10^{-8}$
125	$10\cdot10^{-8}$	95	$20\cdot10^{-8}$	75	$25\cdot10^{-8}$
110	$40\cdot10^{-8}$	100	$50\cdot10^{-8}$	90	$60\cdot10^{-8}$
130	$35\cdot10^{-8}$	120	$40\cdot10^{-8}$	110	$50\cdot10^{-8}$
185	$15\cdot10^{-8}$	160	$35\cdot10^{-8}$	140	$40\cdot10^{-8}$
215	$5\cdot10^{-8}$	180	$10\cdot10^{-8}$	160	$15\cdot10^{-8}$
70	$35\cdot10^{-8}$	55	$60\cdot10^{-8}$	30	$100\cdot10^{-8}$
270	$165\cdot10^{-10}$	195	$275\cdot10^{-10}$	185	$325\cdot10^{-10}$
505	$190\cdot10^{-11}$	500	$325\cdot10^{-11}$	490	$450\cdot10^{-11}$

менисков, гПа, $K_{w(10)}$ – коэффициент просачивания,

4.2. Перемещение капиллярной воды в грунтах следует устанавливать по группам капилляров. Для слоистых грунтов расчет проводят по уравнениям:

$$t_n = \frac{\tau - s}{K_{w(n)}\sin\alpha_n} - \frac{1}{K_{w(n)}\sin^2\alpha_n}\left[\frac{q_{к(n)}}{\rho_в g} + h_б - P + (U+\tau)\sin\alpha_n\right] \times$$

$$\times \ln\left[1 - \frac{(S-\tau)\sin\alpha_n}{\frac{q_{к(n)}}{\rho_в g} + h_б - P}\right]; \qquad (28)$$

$$P = \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i \sin\alpha_i \; ; \qquad (29)$$

$$\tau = \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i \; ; \qquad (30)$$

$$U = \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i \left(\frac{4 K_{w(n)}}{\xi_i^{I} K_{w(i)}^{I} + \ldots + \xi_i^{IV} K_{w(i)}^{IV}} \right) - \sum_{i=0}^{i=n-1} \Delta S_i \; ; \qquad (31)$$

$$q_к = q_{к(10)} (1 - 0{,}02\theta_в); \qquad (32)$$

$$K_w = K_{w(10)} (0{,}7 + 0{,}03\theta_в), \qquad (33)$$

где t_n – продолжительность перемещения воды на участке n-го слоя грунта, с;

S – расстояние, на которое просочилась вода от горизонта поверхностных или грунтовых вод, м;

$K_{w(i)}$, $K_{w(n)}$ – коэффициенты просачивания воды, м/с, соответственно в грунте i-го и n-го слоя на участке пути, пройденном водой;

α_i, α_n – угол между осью по направлению движения воды соответственно на i-м и n-м участке и горизонтальным радиусом тригонометрического круга, град (функциям $\sin\alpha$ приписывается определенный знак в зависимости от того, в какой четверти тригонометрического круга лежит ось по направлению движения воды. При перемещении воды по вертикальному направлению вверх $\sin\alpha = +1$; при перемещении вниз $\sin\alpha = -1$);

$q_{к(n)}$, $q_{к(10)}$ – удельная движущая сила мениска, Па, в n-м слое грунта на участке пути, прой-

денном водой, соответственно при фактической температуре и температуре 10°С;

g – ускорение свободного падения, м/с^2;

$h_в$ – толщина слоя воды на поверхности, м;

ΔS_i – толщина однородного слоя грунта, м;

ξ_i^{I}, ξ_i^{IV} – коэффициенты соответственно для I и IУ группы капилляров i-го слоя грунта, характеризующие степень их заполнения водой, (при просачивании воды на всю толщину i-го слоя грунта $\xi_i = 1$, в остальных случаях $\xi_i = 0$);

n – количество слоев грунта на пути, пройденном водой; для последнего слоя $i = n$;

i – индекс слоя грунта; для первого слоя грунта по направлению движения воды $i = 1$;

$K_{w(10)}$ – коэффициент просачивания воды в грунте при температуре 10°С, м/с;

$\Theta_в$ – температура воды в грунте, °С.

Перемещение капиллярной воды в однородном грунте можно устанавливать по номограммам (рис.5 и 6).

4.3. Для конструкций без морозозащитного слоя из песка эпюру влажности глинистых грунтов от атмосферных осадков устанавливают таким образом. Вначале с помощью номограммы (см. рис.5) определяют глубины, на которые может просочиться вода под проезжей частью, обочинами и на разделительной полосе в различные моменты времени, но не более чем за период от начала влагонакопления до промерзания земляного полотна. Этот период включает последний осенний месяц плюс часть зимы до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через минус 2,5 и минус 5°С при продолжительности периода от конца осе-

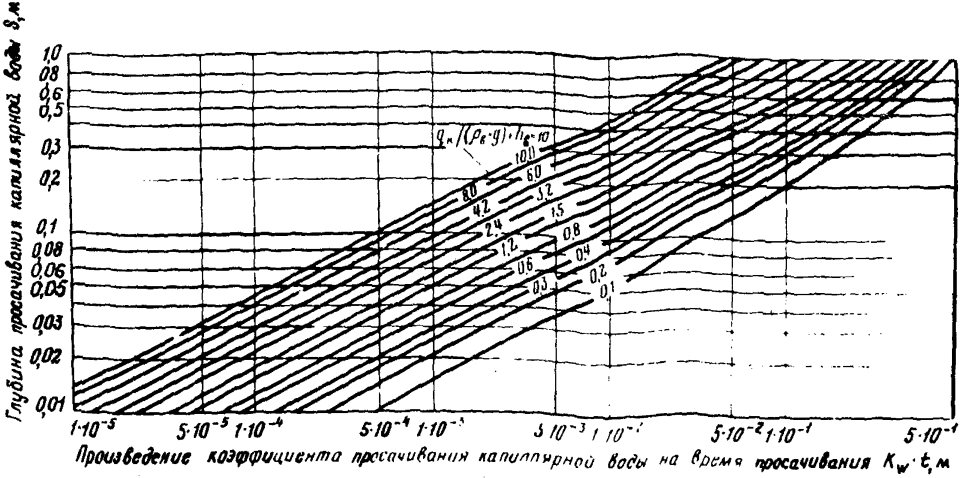


Рис.5. Номограмма для расчета перемещения капиллярной воды в однородном грунте вертикально вниз ($q_к$ – удельная движущая сила мениска, Па; $\rho_в$ – плотность воды, кг/м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $h_в$ – слой воды на поверхности, м)

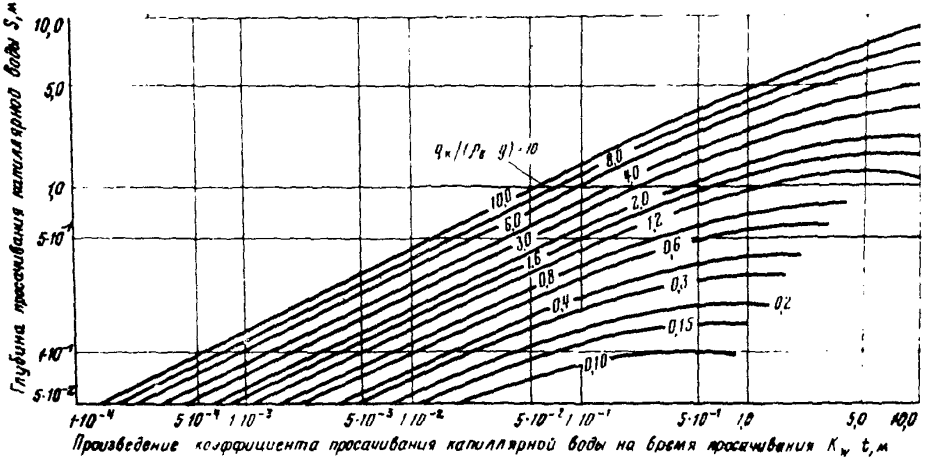


Рис.6. Номограмма для расчета перемещения капиллярной воды в однородном грунте вертикально вверх

ни до наступления указанных температур воздуха соответственно не менее 20 и 10 сут.

При расположении низа дорожной одежды выше капиллярной каймы над грунтовыми и поверхностными водами или над верховодкой расчет глубин просачивания воды проводят для четырех групп капилляров. При ином расположении низа дорожной одежды расчет следует проводить только для тех капилляров, которые находятся выше капиллярной каймы.

За начало отсчета глубин просачивания следует принимать: под проезжей частью - низ дорожной одежды; под обочинами - низ их укрепления; на разделительной полосе - поверхность грунта.

По данным таких расчетов устанавливают объемы воды, которые поступают в грунт в различные моменты времени под проезжей частью, и сравнивают их с притоком воды в грунт от атмосферных осадков, выпадающих на проезжую часть ($q_{атм\ (пр\ ч)}$). За искомые принимают глубины, при которых сравниваемые величины равны. Аналогично рассчитывают глубины, на которые может просочиться вода под обочинами и на разделительной полосе.

Затем определяют эпюры влажности грунта под проезжей частью, обочиной и разделительной полосой при одномерном перемещении воды. После этого устанавливают зону грунта под дорожной одеждой, в которой происходит прирост влажности за счет поступления воды со стороны обочины и разделительной полосы. Для этого вычисляют расстояние, на которое может переместиться вода в поперечном направлении от кромки проезжей части или краевой полосы, если последняя имеет то же покрытие, что и проезжая часть. Расчет проводят для различных глубин от низа дорожной одежды. Искомое расстояние можно принимать равным глубине просачивания воды на обочине или на раздели -

тельной полосе минус глубина, на которой определяют влажность грунта. На границе зоны увлажнения под дорожной одеждой прирост влажности грунта за счет поступления воды в поперечном направлении равен нулю. В сечении по кромке проезжей части или краевой полосы искомая величина влажности на рассматриваемой глубине равна наибольшему значению влажности, которую имеет грунт на этой глубине под проезжей частью, обочиной и разделительной полосой при одномерном перемещении воды[x)].

4.4. При устройстве морозозащитного слоя из песка на всю ширину земляного полотна нужно устанавливать эпюру влажности глинистых грунтов от атмосферных осадков по трем расчетным схемам.

Первая схема применяется при расположении низа морозозащитного слоя выше капиллярной каймы над грунтовыми и поверхностными водами или над верховодкой. В этом случае влажность грунта над капиллярной каймой определяется миграцией капиллярно-подвешенной воды, поступающей из морозозащитного слоя.

Расчет начинают с установления максимального количества воды, которая может просочиться из упомянутого слоя в нижележащий глинистый грунт. Искомую величину $q_{отт\,(max)}$ вычисляют по формуле (1) "Методических рекомендаций по проектированию оптимальных конструкций земляного полотна автомобильных дорог на основе методов регулирования водно-теплового режима", принимая $W_п = W_{опт}$. Затем определяют для проезжей части и обочины значения глубин по группам капилляров, на которые просачивается вода от низа

---

x) Изложенный расчет прироста влажности под дорожной одеждой дает несколько завышенные результаты. Более точный, но и более трудоемкий метод расчета изложен в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна" (М.: Транспорт, 1982).

морозозащитного слоя в различные моменты времени, но не более чем за срок, равный продолжительности последнего осеннего месяца плюс часть зимы до устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через минус 2,5 и минус 5°С плюс период запаздывания промерзания морозозащитного слоя (формуле 43).

В расчет по номограмме (см. рис. 5) вводят величины: $\bar{q}_к^{I}, K_w^{I}, \bar{q}_к^{II}, K_w^{II}, \bar{q}_к^{III}, K_w^{III}, \bar{q}_к^{IV}, K_w^{IV}$,

где $\bar{q}_к^{I} = q_к^{I} - q_{ср(п)}$, $\bar{q}_к^{II} = q_к^{II} - q_{ср(п)}$, $\bar{q}_к^{III} = q_к^{III} - q_{ср(п)}$,

$\bar{q}_к^{IV} = q_к^{IV} - q_{ср(п)}$, $q_к^{I}$, $q_к^{II}$, $q_к^{III}$, $q_к^{IV}$ и $K_w^{I}, K_w^{II}, K_w^{III}, K_w^{IV}$ –

характеристики глинистого грунта под морозозащитным слоем, $q_{ср(п)}$ – среднеарифметическое значение удельных движущих сил менисков для песка морозозащитного слоя.

За искомые глубины принимают те, которые получены на момент, соответствующий началу промерзания морозозащитного слоя при условии, что объем воды, поступившей в грунт, менее максимальной величины $q_{отт(max)}$. В противном случае за искомые принимают глубины, при которых указанные объемы воды равны. Затем рассчитывают эпюры влажности грунта так же, как для конструкций без морозозащитного слоя из песка.

Вторая расчетная схема применяется при расположении морозозащитного слоя в зоне капиллярной каймы над уровнем грунтовых и поверхностных вод или над верховодкой. В этом случае часть капилляров глинистого грунта на всю толщину указанной зоны заполнена водой. Высота поднятия воды в некоторых группах капилляров может не достигать низа морозозащитного

слоя. Для них нужно рассчитывать эпюры влажности за счет поступления воды из морозозащитного слоя так же, как по первой схеме. При этом дополнительно учитывают отток воды из морозозащитного слоя по капиллярам глинистого грунта, полностью заполненным водой. Такой отток происходит при расстоянии от уровня поверхностных и грунтовых вод или верховодки до низа морозозащитного слоя $H_{мз}$, м, больше величины $q_{ср(п)}/(\rho_в g)$.

В этом случае отток воды $\Delta q_{отт}$, $м^3$ на 1 $м^2$ дороги, по каждой группе капилляров глинистого грунта, заполненных водой, вычисляют по формуле

$$\Delta q_{отт} = \frac{K_w [H_{мз} - q_{ср(п)}/(\rho_в g)](W_{к.в} - W_{опт}) \rho_{ск} t \bar{\omega}_{ср}}{4 H_{мз} \rho_в}, \qquad (34)$$

где $K_w, W_{к.в}, W_{опт}, \rho_{ск}$ – характеристики глинистого грунта;
t – продолжительность оттока воды из морозозащитного слоя, с.

Третья расчетная схема применяется при расположении уровня грунтовых вод или верховодки выше отметки низа морозозащитного слоя. В этом случае вода из морозозащитного слоя не поступает в нижележащий глинистый грунт.

При устройстве морозозащитного слоя из песка только в пределах проезжей части с трубчатыми дренами под краевыми полосами эпюру влажности глинистого грунта под проезжей частью следует рассчитывать так же, как для конструкции с морозозащитным слоем, на всю ширину земляного полотна. Отличие только в размерах притока атмосферных осадков в морозозащитный слой и оттока воды из него в нижележащий грунт. Расчет эпюры влажности грунта под обочинами аналогичен расчету, изложенному в п.4.3.

4.5. Эпюры влажности грунтов при их увлажнении

грунтовыми водами и верховодкой нужно устанавливать в предлагаемой далее последовательности.

Вначале следует определить эпюру влажности грунтов в весенний период (см. рис. 4,а), принимая в качестве расчетного положения грунтовых вод их наивысший уровень. Весной подъем воды имеет пикообразный характер и продолжительность его обычно не превышает 10–15 сут. За этот срок нужно установить по формулам (28)–(33) или с помощью номограммы (см. рис.5) значения высот капиллярного поднятия воды по группам капилляров, а по этим данным вычислить влажность грунтов над горизонтом грунтовых вод. Величина этой влажности находится в пределах от оптимальной до полной капиллярной влагоемкости. Ниже горизонта грунтовых вод влажность грунта равна полной влагоемкости.

Затем следует определить эпюру влажности грунтов в летний период (см.рис.4). Для этой эпюры в качестве расчетного горизонта грунтовых вод принимают их среднемноголетнее положение в летний период. Можно принять, что высшее положение менисков капиллярной воды, достигнутое в весенний период, не изменяется при понижении горизонта грунтовых вод от весеннего положения к летнему. Такое положение менисков сохраняется до тех пор, пока высота капиллярного поднятия над горизонтом грунтовых вод в летний период не превышает максимального значения, равного величине $q_к/(\rho_в g)$. При превышении указанной величины в расчет следует вводить максимальные значения высот капиллярного поднятия воды $h_{к(max)} = q_к/(\rho_в g)$. После этого нужно установить эпюру влажности грунтов перед промерзанием земляного полотна (см.рис.4,в). В этом случае в качестве расчетного горизонта грунтовых вод принимают наивысший их осенний уровень в период между капитальными ремонтами дорожной одеж-

ды. Высоту капиллярного поднятия рассчитывают по формулам (28)-(33) с учетом эпюры влажности грунтов в летний период.

В случае перемещения капиллярной воды в однородном грунте расчет по упомянутым выше формулам проводят при $U = 0$. При этом принимают, что $P = 0$ и $\tau = 0$ при поднятии грунтовых вод осенью выше отметки, соответствующей положению менисков в летний период.

При расположении уровня грунтовых вод ниже этих отметок в расчет вводят значения $P = \Delta S$ и $\tau = \Delta S$, где ΔS - превышение отметки, соответствующей положению менисков воды в летний период, над расчетным горизонтом грунтовых вод осенью, м.

Высоту капиллярного поднятия в осенний период над горизонтом грунтовых вод $S_к^{IV}$ или над положением менисков в летний период $\Delta h_к^{I}, \Delta h_к^{II}, \Delta h_к^{III}$ определяют за время, равное продолжительности промерзания грунтов до капиллярной каймы.

При наличии верховодки за расчетный уровень этих вод нужно принять горизонт оглеения. В пределах толщи грунта ΔH_{gg}, где возможно образование верховодки, влажность равна полной влагоемкости; ниже этого слоя она принимается равной полной капиллярной влагоемкости (см. рис.4,г). Над горизонтом оглеения влажность грунта изменяется от полной капиллярной влагоемкости до оптимальной. Величину этой влажности устанавливают в зависимости от высоты капиллярного поднятия по группам капилляров за период с начала осени до промерзания капиллярной каймы.

5. Температурное поле земляного полотна в зимний период

5.1. Температурное поле земляного полотна нужно

прогнозировать с учетом процессов теплопередачи и массопереноса. Ход температуры грунта зимой следует определять по следующей расчетной схеме, приведенной на рис. 7, где приняты следующие обозначения:

$\bar{\theta}_{min}$ – минимальная приведенная[x] температура воздуха, °С;

$\theta_{min(i)}$ – минимальная температура грунта на глубине h_i, °С;

$\theta_{л.обр}$ – температура льдообразования в грунте, °С;

$T_{пон}$ – период понижения приведенной температуры воздуха от 0°С до $\bar{\theta}_{min}$, сут;

$T_{пов}$ – период повышения приведенной температуры воздуха от $\bar{\theta}_{min}$ до 0°С, сут;

$t_{зам(i)}$ период от начала зимы до перехода температуры грунта на глубине h_i через $\theta_{л.обр}$, сут;

$t_{пон(i)}$ период понижения температуры грунта на глубине h_i от $\theta_{л.обр}$ до $\theta_{min(i)}$, сут;

$t_{уст(i)}$ – период с постоянной температурой грунта на глубине h_i, сут;

$t_{пов(i)}$ период повышения температуры грунта на глубине h_i от $\theta_{min(i)}$ до $\theta_{л.обр}$, сут.

---

x) Под приведенной температурой воздуха следует понимать температуру над поверхностью покрытия проезжей части или обочины.

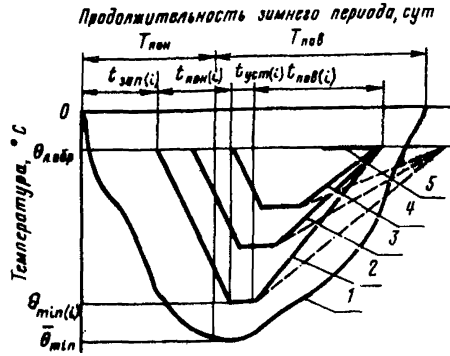


Рис.7. Расчетная схема температурного поля земляного полотна в зимний период: 1 – температура воздуха; 2-ход температуры грунта на глубине h_i, м, от низа (каменной части) дорожной одежды; 3-то же, на глубине h_{i+1}, т.е. ниже h_i; 4-то же, на глубине h_{i+2}, т.е. ниже h_{i+1}; 5-то же, на глубине промерзания за зиму, м (расстояние от низа каменной части дорожной одежды до глубины $h_{пр}$ с температурой, равной температуре льдообразования).

5.2. Для расчета температурного поля необходимы приведенные ниже данные:

климатические параметры для трех расчетных периодов наиболее теплого и наиболее холодного года (периодичностью повторения 1 раз в период между капитальными ремонтами дорожной одежды) и года со среднемноголетними температурами (см.табл.8, в которой приведены данные для холодного и теплого года повторяемостью 1 раз в 20 лет)[x];

среднемесячная скорость ветра за зиму по данным гидрометеослужбы;

конструкция дорожной одежды (материалы слоев, толщина и плотность слоев) по проекту;

грунтовой разрез земляного полотна и естественного основания (наименование грунта и толщины слоев

---

x) Климатические параметры для пунктов, не указанных в табл.8, можно установить по методике, изложенной в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна" (М.: Транспорт, 1982).

Таблица 8

Город	Температурная характеристика года	Климатические параметры[x)]						
		$a_{темп}$, °С	$a_{пок}$, сут	$a_{пов}$, сут	$a_{зап}$, сут	$a_{уст}$, сут	$a_{пр}$, м	$R_{pq\,(max)}$, м²·К/Вт
Архангельск	Холодный	23,3	129	78	140	39	0,79	2,33
	Со среднемноголетними температурами	16,8	98	88	125	33	0,69	2,13
	Теплый	13,7	116	58	143	26	0,66	1,91
Великие Луки	Холодный	14,9	75	75	127	28	0,69	1,98
	Со среднемноголетними температурами	6,1	103	54	104	16	0,48	0,88
	Теплый	4,6	71	27	98	6	0,18	0,66
Вильнюс	Холодный	11,9	50	74	102	23	0,62	1,72
	Со среднемноголетними температурами	8,3	43	49	80	5	0,15	0,40
	Теплый	3,3	36	26	62	3	0,10	0,30
Горький	Холодный	20,8	101	52	102	37	0,77	2,20
	Со среднемноголетними температурами	17,9	100	41	123	32	0,72	2,08
	Теплый	8,9	87	65	117	17	0,51	1,39
Ижевск	Холодный	21,3	154	50	155	41	0,81	2,37
	Со среднемноголетними температурами	19,6	117	50	141	37	0,77	2,27
	Теплый	14,8	99	37	136	9	0,61	1,84

Казань	Холодный	22,8	84	80	119	40	0,79	2,36
	Со среднемноголетними температурами	12,6	86	81	127	34	0,74	2,14
	Теплый	15,9	88	55	134	24	0,66	1,86
Калининград	Холодный	10,7	48	69	92	18	0,53	1,48
	Со среднемноголетними температурами	5,8	77	45	105	11	0,34	0,95
	Теплый	0,7	15	14	29	1	0,03	0,10
Киев	Холодный	14,5	45	75	90	20	0,58	1,59
	Со среднемноголетними температурами	12,4	21	50	69	14	0,42	1,15
	Теплый	3,0	67	25	87	4	0,15	0,40
Киров	Холодный	19,7	85	79	133	48	0,82	2,49
	Со среднемноголетними температурами	18,3	81	89	125	38	0,75	2,15
	Теплый	14,0	52	95	102	30	0,68	1,81
Кишинев	Холодный	13,4	65	23	85	18	0,45	1,29
	Со среднемноголетними температурами	4,6	36	34	70	3	0,15	0,43
Кострома	Холодный	20,3	87	80	148	40	0,80	2,36
	Со среднемноголетними температурами	16,5	102	55	121	31	0,72	2,09
	Теплый	9,1	85	75	110	15	0,45	1,22

Продолжение табл.8

Город	Температурная характеристика года	Климатические параметры[x])						
		$a_{темп}$, °С	$a_{пон}$, сут	$a_{пов}$, сут	$a_{зап}$, сут	$a_{уст}$, сут	$a_{пр}$, м	$R_{ов}(max)$, м²·К/Вт
Котлас	Холодный	24,4	48	128	108	41	0,80	2,37
	Со среднемноголетними температурами	21,3	108	79	150	37	0,77	2,25
	Теплый	11,6	96	103	102	19	0,52	1,50
Ленинград	Холодный	15,2	77	83	127	27	0,77	1,96
	Со среднемноголетними температурами	12,6	58	33	91	23	0,63	1,85
	Теплый	5,1	58	33	91	6	0,20	0,50
Львов	Холодный	11,7	61	45	106	19	0,56	1,50
	Со среднемноголетними температурами	7,2	68	40	94	12	0,37	1,00
	Теплый	3,1	48	23	70	4	0,15	0,38
Минск	Холодный	13,8	66	60	103	24	0,65	1,81
	Со среднемноголетними температурами	7,2	85	43	112	16	0,48	1,32
	Теплый	6,5	15	45	57	6	0,19	0,52
Москва	Холодный	17,5	86	84	135	42	0,76	2,32
	Со среднемноголетними температурами	14,0	117	36	120	28	0,62	1,81
	Теплый	8,8	67	77	70	15	0,41	1,03

Новгород	Холодный	15,0	77	74	119	29	0,69	2,00
	Со среднемноголетними температурами	8,0	72	68	124	13	0,38	1,05
	Теплый	6.0	71	30	101	12	0,22	0,60
Петрозаводск	Холодный	20,2	101	95	128	35	0,75	2,18
	Со среднемноголетними температурами	15,6	76	87	128	28	0,69	1,98
	Теплый	6,6	93	92	96	10	0,31	0,86
Пермь	Холодный	27,1	88	83	118	46	0,82	2,50
	Со среднемноголетними температурами	20,2	61	101	132	40	0,80	2,36
	Теплый	13,2	92	68	114	27	0,67	1,89
Псков	Холодный	14,3	57	95	108	29	0,69	1,99
	Со среднемноголетними температурами	13,3	76	73	112	17	0,49	1,36
	Теплый	4,4	74	23	97	4	0,14	0,53
Свердловск	Холодный	27,9	129	47	160	47	0,82	2,54
	Со среднемноголетними температурами	25,6	61	80	97	36	0,76	2,24
	Теплый	13,3	108	34	111	28	0,68	1,96
Таллин	Холодный	12,0	77	84	122	21	0,58	1,61
	Со среднемноголетними температурами	9,3	71	75	118	13	0,38	1,04
	Теплый	2,2	29	23	52	2	0,07	0,20

Продолжение табл. 8

Город	Температурная характеристика года	Климатические параметры[x]						
		$a_{темп}$, °С	$a_{пон}$, сут	$a_{под}$, сут	$a_{зам}$, сут	$a_{уст}$, сут	$a_{пр}$, м	$R_{од(max)}$, м²·К/Вт
Ульяновск	Холодный	21,0	93	53	129	40	0,79	2,34
	Со среднемноголетними температурами	11,9	106	53	136	31	0,72	2,06
	Теплый	10,6	92	27	105	19	0,52	1,50
Усть-Цильма	Холодный	26,0	118	99	203	69	0,98	3,35
	Со среднемноголетними температурами	24,0	75	107	116	41	0,80	2,37
	Теплый	14,8	122	72	144	33	0,73	2,11
Уфа	Холодный	25,7	117	48	133	45	0,82	2,48
	Со среднемноголетними температурами	16,9	75	85	130	37	0,78	2,27
	Теплый	11,0	75	67	108	26	0,66	1,87

Примечание. Табл. 8 составлена с учетом полученных В.И.Зубковой, М.Дуйшеналиевым и С.В.Черняевым данных моделирования процесса теплопередачи в земляном полотне на гидроинтеграторе.

x) $a_{темп} = \bar{\theta}_{min}$; $a_{пон} = T_{пон}$; $a_{под} = T_{под}$; $a_{зам} = t_{зам}$ при $h_i = h_{пр}$;

$a_{уст.} = t_{уст(0)}$ при $R_{од(max)}$; $i_{зм} = 0{,}4$ и $h_i = 0$; $a_{пр} = h_{пр}$ при $R_{од} = 0$, $\lambda_{гр(м)} = 1{,}16$, $i_{зм} = 0{,}4$ и $\theta_{л.обр} = 0$,

где $R_{од}$ – термическое сопротивление дорожной одежды по формуле (36);

$R_{од(max)}$ – термическое сопротивление дорожной одежды, при котором не происходит промерзание земляного полотна;

$\lambda_{гр(м)}$ – коэффициент теплопроводности мерзлого грунта, Вт/(м·К);

$i_{зм}$ – количество замерзшей воды по формуле (38).

из этих грунтов) в пределах зоны промерзания по проекту;

положение уровня грунтовых вод перед промерзанием земляного полотна (выше или ниже 2,5 м от верха покрытия) по расчету, изложенному в пп.3.1-3.3;

плотность и влажность грунтов земляного полотна и естественного основания по расчету, изложенному в пп.6.1-6.3;

коэффициенты теплопроводности слоев дорожной одежды, мерзлых грунтов земляного полотна и естественного основания, устанавливаемые экспериментально или принимаемые по табл.9 и 10;

температура льдообразования и содержание незамерзшей воды в грунте, устанавливаемые экспериментально или определяемые по формуле (35) и табл.12.

Количество незамерзшей воды в грунте $W_{нз}$ (доли единицы)

$$W_{нз} = K_{нз} W_p \,, \qquad (35)$$

где $K_{нз}$ – коэффициент, зависящий от вида грунта, числа пластичности и температуры мерзлого грунта;

W_p – влажность грунта на границе раскатывания, доли единицы.

Применительно к расчету температурного поля содержание незамерзшей воды нужно устанавливать при температуре грунта, при которой определяется его коэффициент теплопроводности. Тогда можно принять следующие значения коэффициента $K_{нз}$:

	$K_{нз}$
Пески и супеси с числом пластичности 2 и менее	0
Остальные разновидности супеси	0,25
Суглинки	
с числом пластичности 13 и менее . . .	0,40
с числом пластичности более 13	0,45
Глины	0,55

Таблица 9

Материал	Плотность, кг/м³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Цементобетон	2400	1,86
Асфальтобетон		
крупнозернистый	2400	1,16
среднезернистый	2350	1,05
мелкозернистый	2300	0,93
Битумоминеральная смесь	2300	0,99
Щебень		
из гранита	1800	1,86
известняковый	1600	1,40
Гравий	1800	1,86
Песок, обработанный		
6-8% цемента	2100	1,86
битумом	1850	0,81
Песок с добавкой перлита (30% массы смеси), обработанный битумной эмульсией (10%) совместно с цементом (4%)	1440	0,79
Керамзитобетон	1400	0,76
Керамзитовый гравий, обработанный 10% шлакового вяжущего	1400-1850	0,47-0,58
Аглопоритовый щебень, обработанный вязким битумом	800	0,23
Стиропорбетон	800-1100	0,21-0,23
Пенопласт из полистирола ПС-4	40-60	0,04-0,05

Таблица 10

Плотность скелета грунта, кг/м^3	Влажность грунта, доли единицы	Коэффициенты теплопроводности, Вт/(м·К), мерзлых грунтов		
		песков	супесей	суглинков и глин
1000	0,60	–	2,04	1,92
1200	0,40	–	1,92	1,80
1400	0,35	–	1,86	1,69
	0,30	–	1,80	1,57
	0,25	2,15	1,69	1,51
	0,20	1,86	1,51	1,22
	0,15	1,63	1,28	0,99
	0,10	1,28	1,05	0,76
	0,05	0,81	0,70	0,52
1600	0,30	–	1,98	1,80
	0,25	2,73	1,92	1,69
	0,20	2,38	1,74	1,51
	0,15	2,04	1,57	1,22
	0,10	1,63	1,28	0,93
	0,05	1,10	0,87	0,64
1800	0,20	2,85	1,98	1,80
	0,15	2,62	1,80	1,57
	0,10	2,21	1,57	1,22
	0,05	1,51	0,99	0,76
2000	0,10	2,90	1,86	1,39
	0,05	2,15	–	–

5.3. Температурное поле земляного полотна следует рассчитывать с помощью номограмм (рис.8-16). Для этого предварительно надо определить:

$$R_{og} = \sum_{i=1}^{i=n_{og}} \frac{\Delta h_{og(i)}}{\lambda_{og(i)}} + \frac{1}{\alpha} ; \qquad (36)$$

$$d = 12\sqrt{V}; \qquad (37)$$

$$i_{зм} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_{гр}} i_{зм(i)} \Delta h_{гр(i)}}{h_{пр}}; \qquad (38)$$

$$i_{зм(i)} = (W_i - W_{нз}) \frac{\rho_{ск}}{\rho_в}; \qquad (39)$$

$$\lambda_{гр(м)} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_{гр}} \lambda_{гр(м)\,i} \Delta h_{гр(i)}}{h_{пр}}; \qquad (40)$$

$$\theta_{л\ обр} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n_{гр}} \theta_{л\ обр(i)} \Delta h_{гр(i)}}{h_{пр}}, \qquad (41)$$

где $R_{од}$ – термическое сопротивление дорожной одежды, $м^2 \cdot К/Вт$;

$n_{од}$ – количество конструктивных слоев дорожной одежды;

$\Delta h_{од(i)}$ – толщина конструктивного слоя дорожной одежды, м;

$\lambda_{од(i)}$ – коэффициент теплопроводности слоя дорожной одежды, $Вт/(м \cdot К)$;

α – коэффициент теплообмена на поверхности дорожной одежды, $Вт/(м^2 \cdot К)$;

$i_{зм(i)}$ – количество замерзшей воды в слое грунта, доли единицы;

V – среднемесячная скорость ветра, м/с;

$i_{зм}$ – количество замерзшей воды в зоне промерзания грунта, доли единицы;

$i_{зм(i)}$ – количество замерзшей воды в слое грунта, доли единицы;

$n_{гр}$ – количество слоев грунта в зоне промерзания;

$\Delta h_{гр(i)}$ – толщина слоя грунта в зоне промерзания, м;

W_i – влажность в слое грунта перед его промерзанием, доли единицы;

$\rho_{ск}$ – плотность скелета грунта, кг/м^3;

$\lambda_{гр(м)}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности мерзлых грунтов в зоне промерзания, Вт/(м·К);

$\lambda_{гр(м)i}$ – коэффициент теплопроводности отдельного слоя мерзлого грунта, Вт/(м·К);

$\theta_{л.обр}$ – средняя температура льдообразования грунтов в зоне промерзания, °С;

$\theta_{л.обр(i)}$ – температура льдообразования слоя грунта, °С.

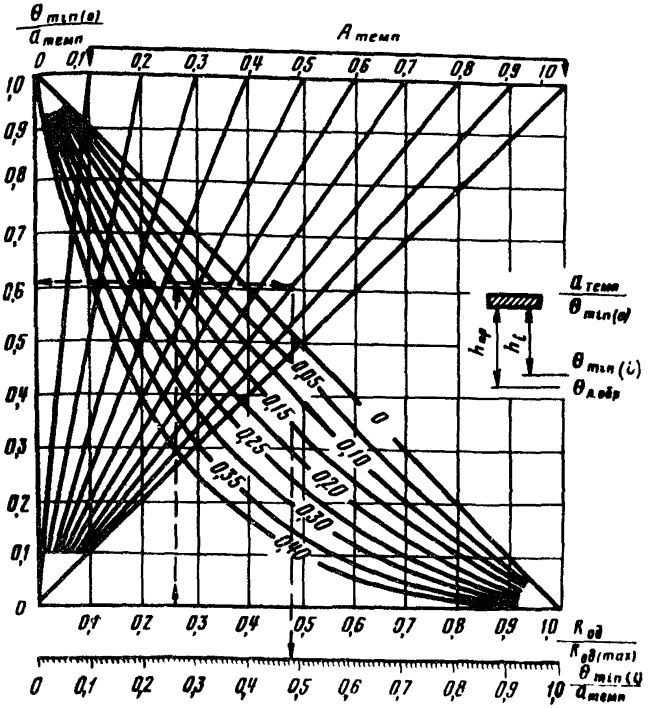


Рис.8. Номограмма для определения минимальной температуры грунта. Цифры на кривых – количество замерзшей воды

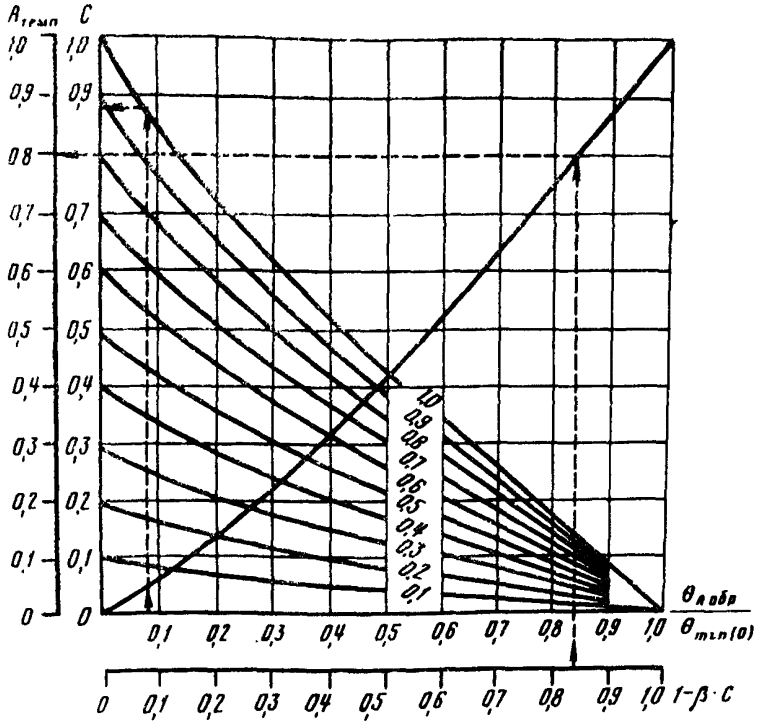


Рис.9. Номограмма для определения параметров C и $A_{темп}$, входящих в расчет глубины промерзания и температуры грунта. Цифры на кривых – отношение $h_i / h_{пр}$.

5.4. Расчет температурного поля следует проводить в предлагаемой далее последовательности.

Вначале устанавливают по формуле (35) величину $W_{нз}$, а по формулам (36) и (37) – $R_{оg}$. Затем задаются глубиной промерзания $h_{пр}$ и вычисляют по формулам (38)–(41) значения $\lambda_{зм}$, $\lambda_{гр(м)}$, $\theta_{л.обр}$.

По рис.8 устанавливают минимальную температуру грунта под дорожной одеждой $\theta_{min(o)}$ при известных значениях $R_{og}/R_{og(max)}$, $i_{зм}$ и $a_{темп}$. Затем определяют по рис.9 параметр C при отношении $h_i/h_{пр}=1,0$ и известной величине отношений $\theta_{л.обр}/\theta_{min(o)}$, а по рис.10,а параметры $A'_{пр}$ и $B'_{пр}$ в зависимости от $P_{og}/R_{og(max)}$, $i_{зм}$. Аналогично устанавливают по рис.10,б параметры $A''_{пр}$ и $B''_{пр}$ и вычисляют глубину промерзания по формуле

$$h_{пр}=0,86\,a_{пр}C\left[A'_{пр}B'_{пр}+2,8\left(1-\frac{a_{пон}}{a_{зап}}\right)\left(A''_{пр}B''_{пр}-A'_{пр}B'_{пр}\right)\right]\lambda_{гр(м)}. \quad (42)$$

Расчет глубины промерзания можно считать законченным при разнице между заданным значением $h_{пр}$ и соответствующей величиной по формуле (42) менее 1%. В противном случае нужно задаться новым значением $h_{пр}$ и повторить расчет. После этого вычисляют отношение $h_i/h_{пр}$. Для полученной величины устанавливают по рис.9 параметр C при $\theta_{л.обр}/\theta_{min(o)}$ и принимают соответствующее значение β по табл.11.

Таблица 11

$h_i/h_{пр}$	Значения β при $\theta_{л.обр}$, °С					
	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
0	1	1,12	1,24	1,36	1,48	1,60
0,2	1	1,10	1,19	1,29	1,38	1,48
0,4	1	1,07	1,14	1,22	1,29	1,36
0,6	1	1,05	1,10	1,14	1,19	1,24
0,8	1	1,02	1,05	1,07	1,10	1,12
1,0	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Подставив их в выражение $1-\beta C$, определяют по рис.9 (кривая без цифр) параметр $A_{темп}$, соответствующий глубине h_i.

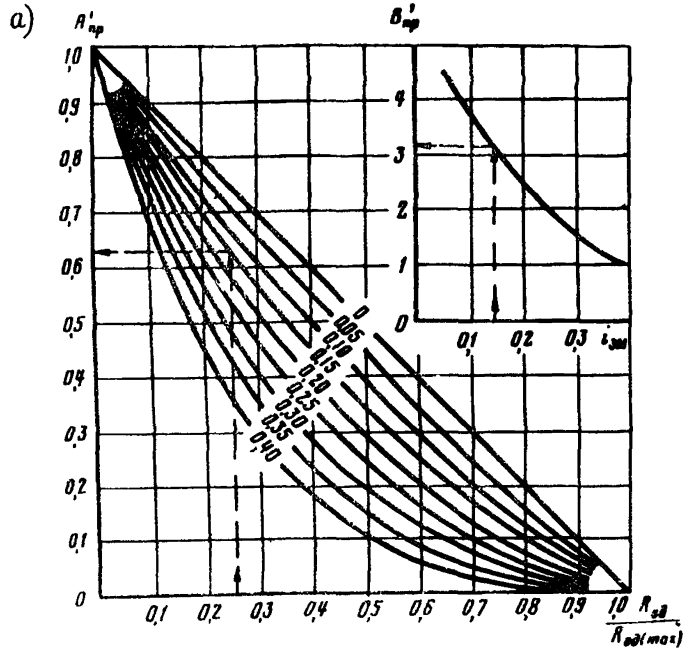
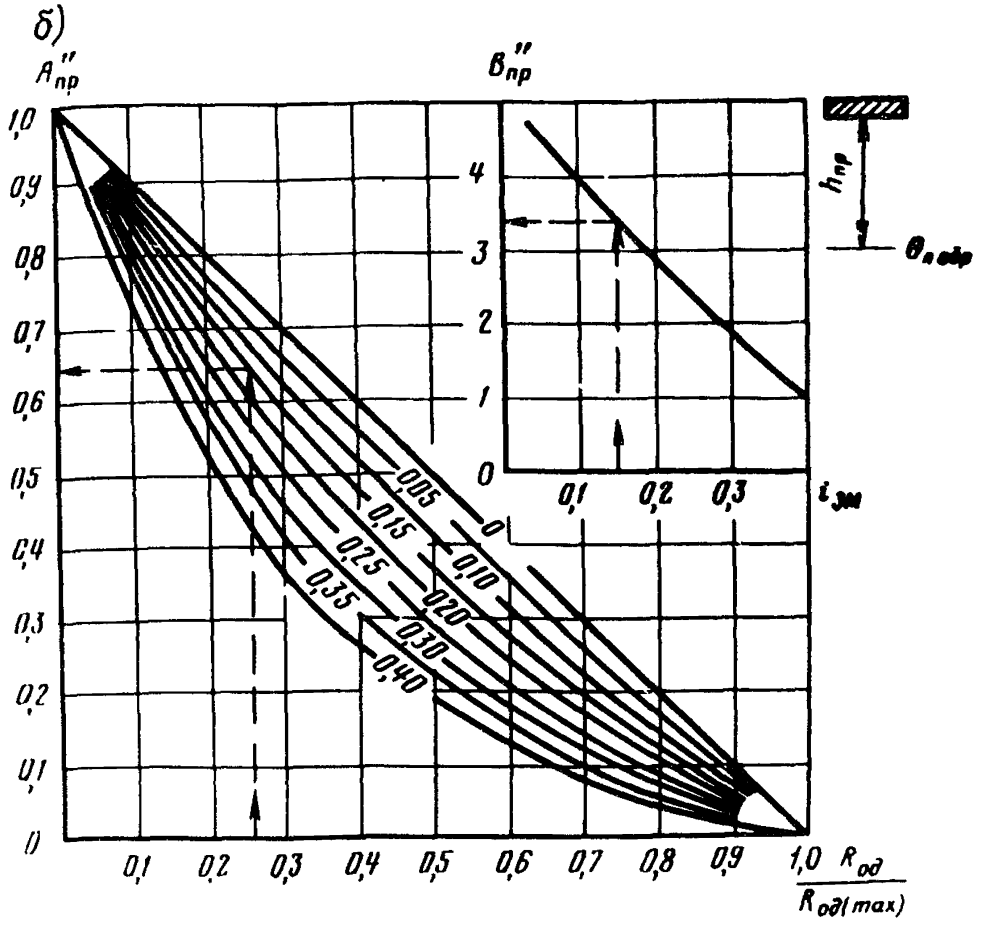


Рис.10. Номограммы для определения параметров $A'_{пр}$, промерзания грунта. Цифры на кривых – количество

Затем по рис.8 в зависимости от отношения $\theta_{min(o)}/a_{темп}$ и параметра $A_{темп}$ определяют значение $\theta_{min(i)}/a_{темп}$, из которого получают минимальную температуру грунта $\theta_{min(i)}$ на глубине h_i; для этого в расчет вводят значение $a_{темп}$.

Следующим этапом расчета является определение продолжительности понижения температуры грунта на



$B'_{пр}$ (а) и $A''_{пр}$, $B''_{пр}$ (б), входящих в расчет глубины замерзшей воды

глубине h_i по рис.11 в зависимости от $R_{од}/R_{од(max)}$ и $i_{зм}$ при известных значениях $\theta_{min(o)}$, $\theta_{min(i)}$ $\theta_{л\,обр}$ и $a_{пон}$.

По рис.12 находят параметры $A_{зап}$ и $B_{зап}$ в зависимости от $R_{од}/R_{од(max)}$ и $i_{зм}$. После этого вычисляют период от начала зимы до перехода температуры грунта при ее понижении через значение, равное $\theta_{л\,обр}$ на

рассматриваемой глубине земляного полотна или его основания:

$$t_{зап(i)} = a_{зап}\left[\left(1{,}0 - A_{зап}B_{зап}\right)\frac{h_i}{h_{пр}} + A_{зап}B_{зап} + 0{,}01\frac{t_{пон(i)}\theta_{л.обр}}{\theta_{min(i)}\theta_{л.обр}}\right], \quad (43)$$

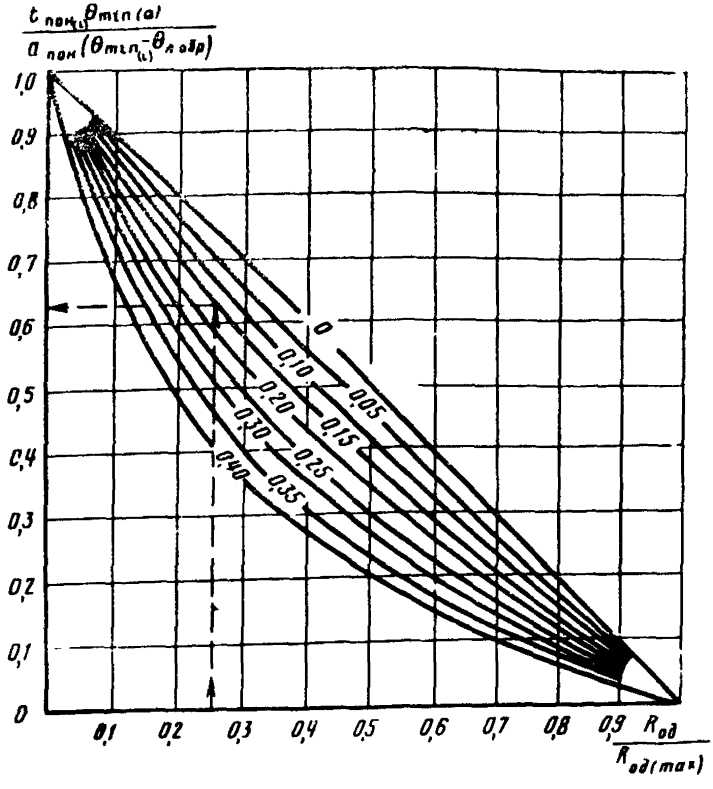


Рис.11. Номограмма для определения продолжительности периода понижения температуры грунта. Цифры на кривых – количество замерзшей воды

По рис.13 определяют параметры $A_{уст(о)}$ и $B_{уст(о)}$ и вычисляют

$$t_{уст(о)} = a_{уст} \cdot A_{уст(о)} B_{уст(о)}. \qquad (44)$$

На заключительном этапе работы с номограммами устанавливают параметры $A_{пов(i)}$ и $t_{пов(о)}$. Первый из них определяется по рис.14 в зависимости от отношения $h_i / h_{пр}$, $\theta_{л.обр}$ и $\theta_{л.обр} / \theta_{min(о)}$, второй – из отношения $\frac{t_{пов(р)}}{a_{пов}} \cdot \frac{\theta_{min(о)}}{a_{темп} R_{од(max)}}$, устанавливаемого по рис.15 в зависимости от $R_{од} / R_{од(max)}$, $i_{зм}$ и $\theta_{л.обр}$. По этим дан-

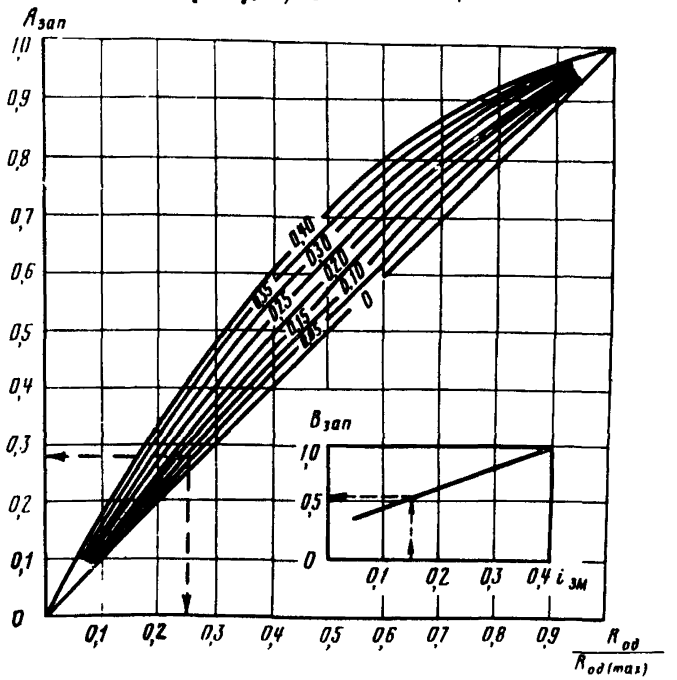


Рис.12. Номограмма для определения продолжительности периода запаздывания температуры грунта. Цифры на кривых – количество замерзшей воды

ным вычисляют продолжительность повышения температуры грунта $t_{пов(i)}$ на рассматриваемой глубине земляного полотна или его основания:

$$t_{пов(i)} = A_{пов(i)} t_{пов(o)}. \qquad (45)$$

После этого вычисляют продолжительность периода с постоянной температурой грунта по формуле

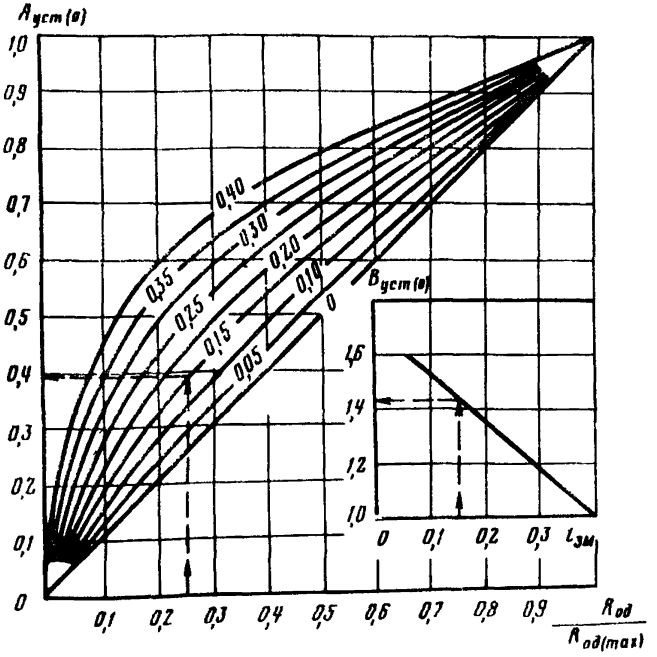


Рис.13. Номограмма для определения продолжительности периода с постоянной температурой грунта. Цифры на кривых – количество замерзшей воды

$$t_{уст(i)} = t_{зап(o)} + t_{пон(o)} + t_{уст(o)} + t_{пов(o)} - t_{зап(i)} - t_{пон(i)} - t_{пов(i)}, \quad (46)$$

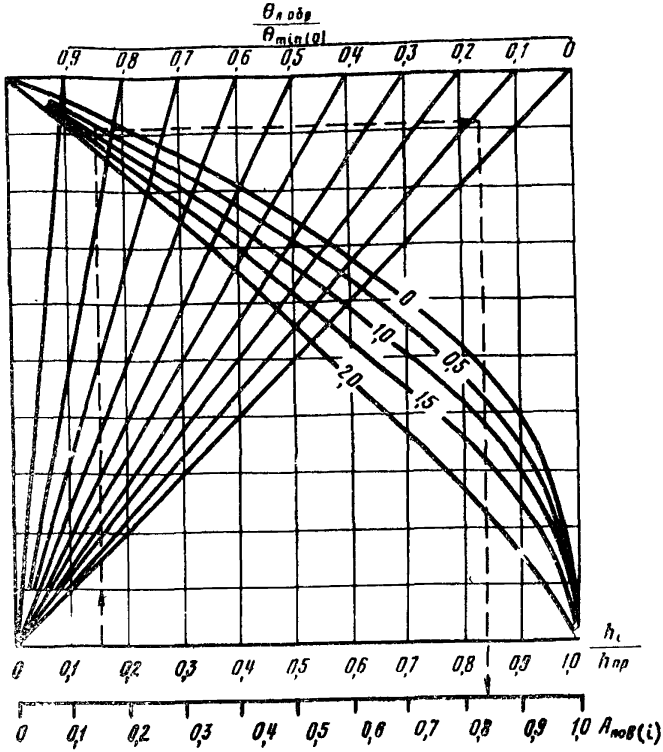


Рис.14. Номограмма для определения параметра $A_{пов(i)}$, входящего в расчет продолжительности периода повышения температуры грунта. Цифры на кривых – температура льдообразования

где $t_{зал(о)}, t_{пон(о)}, t_{уст(о)}, t_{пов(о)}$ – величины, определяющие ход температуры грунта при $h = 0$ (непосредственно под дорожной одеждой).

По полученным данным проводят графическое построение температурного поля земляного полотна в зимний период в соответствии с рис. 7.

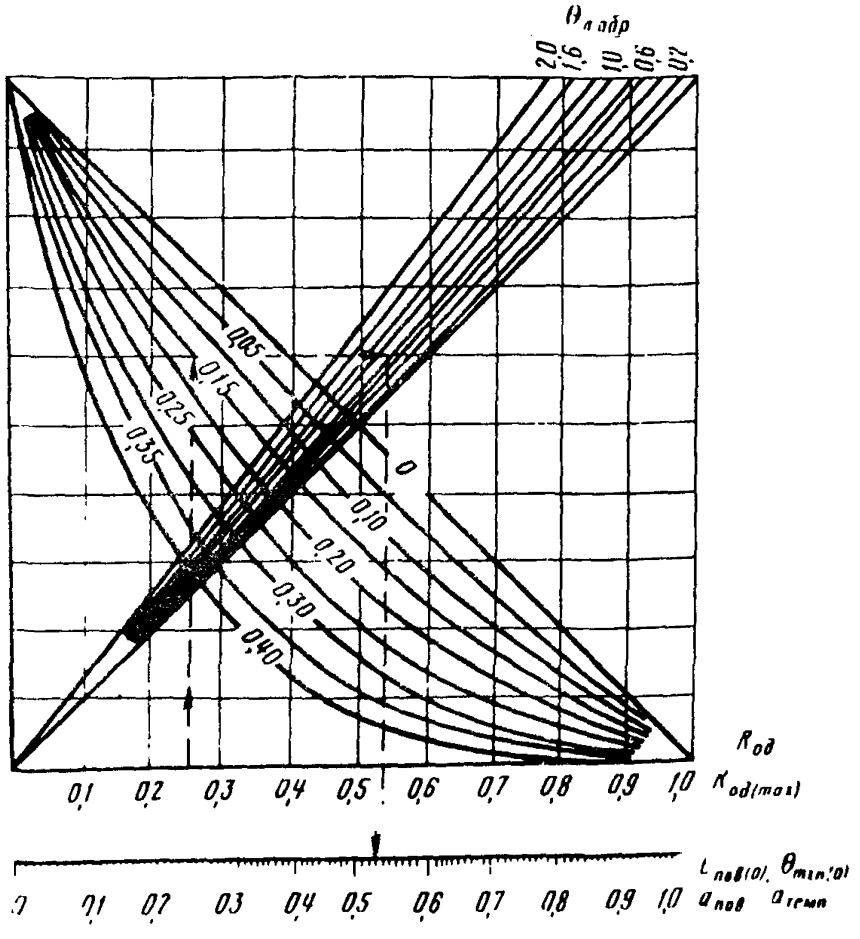


Рис. 15. Номограмма для определения продолжительности периода повышения температуры грунта. Цифры на кривых – количество замерзшей воды

Расчет температурного поля следует повторить несколько раз при различных значениях коэффициента теплопроводности мерзлого грунта и разном количестве замерзшей воды: первый расчет проводят при $\lambda_{гр(м)}$ и $i_{зм}$, соответствующих плотности и влажности грунтов перед промерзанием, второй, а при необходимости третий и последующие расчеты - при $\lambda_{гр(м)}$ и $i_{зм}$, соответствующих плотности и влажности грунтов после их разуплотнения и накопления влаги в зоне промерзания земляного полотна. Расчет заканчивают, когда температурные поля, установленные в первый и второй раз или во второй и третий раз и т.д., практически не различаются. В этом случае соответствующие им значения плотности и влажности грунтов в зоне промерзания должны различаться менее чем на 1%.

Дополнительным источником тепла, который необходимо учитывать, прогнозируя температурное поле земляного полотна, являются грунтовые воды. Влияние грунтовых вод на температуру грунта можно учесть, введя поправочный коэффициент, равный 0,7-0,8, к величине $R_{oq(max)}$, если уровень грунтовых вод зимой не опускается ниже отметки 2,5 м от верха покрытия. При этом меньшее значение поправочного коэффициента относится к дорожным одеждам с теплоизоляционными слоями.

6. Влагонакопление, пучинообразование и осадка грунта

6.1. Для прогноза плотности, влажности и пучения грунта необходимы следующие данные: конструкция дорожной одежды, наименование и толщина слоев, характеристики грунта (наименование грунта, число пластичности, влажность на границе раскатывания, оптимальная влажность, наибольшая плотность скелета грунта, установленная методом стандартного уплотнения, коэф-

фициенты уплотнения грунта земляного полотна при постройке дороги и грунта естественного основания, плотность частиц грунта, тип увлажнения земляного полотна, эпюры влажности грунта перед промерзанием, температурное поле земляного полотна зимой). Помимо этого нужно знать коэффициент пучения грунта, содержание незамерзшей воды и температуру льдообразования, коэффициент, учитывающий влияние нагрузки на интенсивность пучения грунта и коэффициент линейной усадки грунта. Эти величины определяют экспериментально[x]. При ориентировочных расчетах их принимают по графикам и таблицам, приведенным в п.6.2.

Значения коэффициентов уплотнения грунтов естественного основания определяют непосредственно взятием проб в осенний период. При ориентировочных расчетах их можно принять следующими:

Пески, супеси и суглинки пылеватые 0,90

Суглинки легкие и тяжелые и глины 0,95

6.2. Плотность и влажность грунтов и их пучение зимой следует рассчитывать в предлагаемой последовательности.

Расчет начинают с определения положения по глубине в течение зимнего периода изотерм, соответствующих температурам льдообразования и точкам a и b на кривой содержания незамерзшей воды (табл.12), для чего предварительно рассчитывают температурное поле земляного полотна в этот период. Затем устанавливают градиенты незамерзшей пленочной воды на глубине промерзания в различные моменты времени. Расчет проводят по формулам (47)-(48), подставляя в них значения глубин упомянутых изотерм и влажности из табл.12.

---

[x] Методика определения упомянутых показателей грунта приведена в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна" (М.: Транспорт, 1982).

Таблица 12

Оптимальная влажность грунта, %	Температура льдообразования при оптимальной влажности грунта, $-^{o}C$	Характеристика точек a и $б$ на кривой содержания незамерзшей воды в грунте			
		a		$б$	
		Температура $\theta_{a}, -^{o}C$	Количество незамерзшей воды $W_{нз\,(a)}$, %	Температура $\theta_{б}, -^{o}C$	Количество незамерзшей воды $W_{нз\,(б)}$, %
		Песок мелкий и пылеватый			
8	0,0	0,1	2,0	0,2	0,0
10	0,0	0,2	3,0	0,4	0,0
12	0,1	0,3	5,0	0,5	1,0
		Супесь			
10	0,1	0,3	6,0	0,5	5,0
12	0,1	0,3	7,0	0,5	6,0
14	0,1	0,3	8,5	0,5	7,0
16	0,2	0,3	9,5	0,5	8,0
18	0,2	0,3	10,5	0,5	9,0
		Суглинок			
14	0,1/0,3	0,3/0,5	10,0/10,5	0,5/1,0	9,0/9,0
16	0,1/0,3	0,3/0,5	12,0/12,5	0,5/1,0	11,0/11,0
18	0,1/0,3	0,3/0,5	13,5/14,5	0,5/1,0	12,5/12,5
20	0,2/0,4	0,3/0,5	15,5/16,5	0,5/1,0	14,5/14,5
22	0,2/0,4	0,3/0,5	17,0/18,0	0,5/1,0	15,5/15,5
		Глина			
18	0,6	1,5	14,0	2,0	12,5
20	0,6	1,5	16,0	2,0	13,5
22	0,7	1,5	17,5	2,0	16,5
24	0,8	1,5	19,5	2,0	17,0
26	0,9	1,5	21,5	2,0	19,0
28	0,9	1,5	23,5	2,0	20,5

Примечания: 1. Значения характеристик точек кривой содержания незамерзшей воды в грунте получены по результатам испытания мерзлых грунтов в калориметре с переменной температурой с использованием зависимости по формуле (35).

2. Над чертой приведены показатели для суглинка с числом пластичности 7 и менее; под чертой – с числом пластичности более 7.

$$J_{нз(o)} = n\left(W_{нз(a)} - W_{нз(б)}\right)\frac{\left(Z_{пр} - Z_б\right)^{n-1}}{\left(Z_a - Z_б\right)^{n}} \cdot \frac{\rho_{ск(t)}}{\rho_в}; \qquad (47)$$

$$n = \frac{lg\left(W_{опт} - W_{нз(б)}\right) - lg\left(W_{нз(a)} - W_{нз(б)}\right)}{lg\left(\frac{Z_{пр} - Z_б}{Z_a - Z_б}\right)}, \qquad (48)$$

где $J_{нз(o)}$ – градиент незамерзшей пленочной воды на глубине промерзания, безразмерная величина;

$W_{нз(a)}$, $W_{нз(б)}$ – количество незамерзшей воды соответственно при температуре θ_a и $\theta_б$, доли единицы;

$Z_{пр}$ – глубина промерзания на данный момент времени, м;

Z_a, $Z_б$ – глубины, на которых температуры грунта равны соответственно θ_a и $\theta_б$, м;

$\rho_{ск(t)}$ x) – плотность скелета грунта в зоне промерзания на рассматриваемый момент, кг/м^3.

После этого следует определить интенсивность пучения полностью водонасыщенного грунта $i_{пуч}$, м/с, на те же моменты времени. Расчет проводят по формулам:

$$i_{пуч} = K_{пуч} J_{нз(o)} f(P)^{xx}; \qquad (49)$$

$$f(P) = 1 - a_n lg\left(1 + \frac{P}{P_o}\right), \qquad (50)$$

---

x) Вначале в расчет включают плотность грунта перед промерзанием и определяют в первом приближении пучение грунта. По величине пучения устанавливают плотность грунта после промерзания. По плотности до и после промерзания определяют среднее значение плотности грунта в период промерзания, которое вводят в формулу (47), и повторяют расчет.

xx) В некоторых случаях расчет может давать завышенные результаты, так как формула (49) не учитывает скорости подтока капиллярной воды к зоне промерзания грунта. При необходимости уточнения величины $i_{пуч}$ расчет проводят по зависимостям, приведенным в книге В.И.Рувинского "Оптимальные конструкции земляного полотна" (М.: Транспорт, 1982).

где $K_{пуч}$ – коэффициент пучения грунта, м/с (рис. 16);

$a_п$ – коэффициент, учитывающий влияние нагрузки на интенсивность пучения грунта, безразмерная величина (табл. 13);

P – нагрузка на зону пучения грунта, равная весу дорожной одежды и слоев грунта до глубины промерзания земляного полотна, Па;

P_o – нагрузка на грунт, при которой устанавливается значение коэффициента $a_п$, Па.

Функцию нагрузки на грунт определяют по формуле (50) при P_o = 9,8 кПа в те же сроки, что и остальные величины.

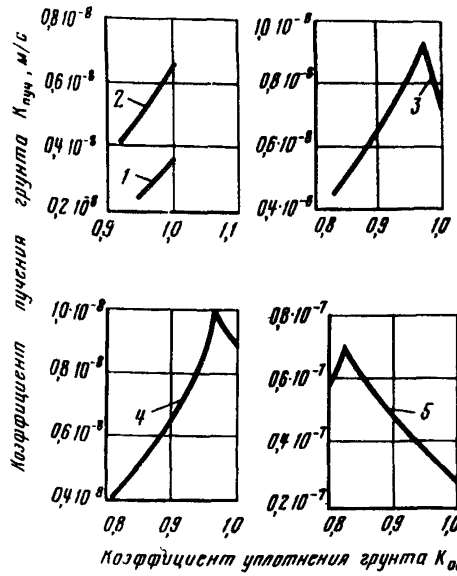


Рис.16. Значение коэффициентов пучения грунтов в зависимости от их коэффициентов уплотнения: 1–мелкий песок; 2–пылеватый песок; 3–пылеватая супесь; 4–легкий пылеватый суглинок; 5–пылеватая глина

Таблица 13

Грунт	Значение a_n при коэффициенте уплотнения грунта перед промерзанием				
	0,80	0,85	0,90	0,95	1,0
Песок мелкий	-	-	-	-	2,5
Песок пылеватый	-	-	-	-	2,0
Супесь легкая пылеватая	-	2,0	1,5	1,0	0,5
Суглинок легкий пылеватый	-	1,0	0,8	0,6	0,4
Глина	0,6	0,5	0,4	0,4	0,3

Следующий этап расчета - определение пучения водонасыщенного грунта $h_{пуч(о)}$, м, за отдельные интервалы времени с постоянными значениями интенсивности пучения. В этом случае пучение равно произведению его интенсивности, установленной по формуле (49), на величину указанного интервала.

Для неводонасыщенных грунтов пучение $h_{пуч}$, м, следует устанавливать, вводя поправочный коэффициент K_v к соответствующему значению для водонасыщенного грунта:

$$h_{пуч} = K_v h_{пуч(о)}; \qquad (51)$$

$$K_v = \left(\frac{W_o - W_{опт}}{W_{пв} - W_{опт}}\right)\left[1 - \frac{(W_{пв} - W_o) K_{ос} \rho_{max} h_{пр}}{1{,}09 \rho_в h_{пуч(о)}}\right], \qquad (52)$$

где W_o - влажность грунта перед промерзанием, доли единицы;

$K_{ос}$ - коэффициент уплотнения грунта перед промерзанием;

ρ_{max} - наибольшая плотность скелета грунта, установленная по методу стандартного уплотнения, кг/м^3.

Отрицательное значение алгебраической суммы в квадратных скобках показывает, что не все поры, занятые воздухом до промерзания грунта, заполнены льдом. В этом случае в расчете по формуле (52) принимают, что значение в квадратных скобках равно нулю. При $K_y < 0,05$ в расчет принимают $K_y = 0,05$ для учета миграции пленочной и парообразной воды.

При проектировании дорожной одежды необходимо предусматривать обеспечение ее прочности при минимальных прочностных и деформационных характеристиках грунтов в расчетный период. Эти характеристики соответствуют минимальной плотности и максимальной влажности талого грунта. Такие значения коэффициента уплотнения $K_{расч}$ и влажности $W_{расч}$, доли единицы, устанавливаются в слоях земляного полотна после отгаивания весной расчетного года. Это так называемые расчетные значения плотности и влажности грунта.

Для определения этих характеристик нужно предварительно установить плотность грунта (коэффициент уплотнения) в конце зимы $K_з$

$$K_з = \frac{K_{ос}}{1 + \frac{h_{пуч}}{h_{пр}}} . \qquad (53)$$

После этого вычисляют искомые значения влажности и плотности грунта:

$$W_{расч} = \frac{(\rho_{вр} - K_з \rho_{max})\rho_в}{1,09 K_з \rho_{max} \rho_{гр}} + 0,08 W_{нз} ; \qquad (54)$$

$$K_{расч} = \rho_{гр} \Big/ \left[\left(W_{расч} \rho_{гр} / \rho_в + 1 \right) \rho_{max} \right]. \qquad (55)$$

Расчет по формуле (54) действителен при условии, что полученная величина не менее величины влажности после осадки. В противном случае в качестве расчет-

ной принимают влажность, установленную по фор - муле (57).

6.3. Следующий этап расчета - определение по слоям земляного полотна (до глубины промерзания) плотности грунта после осадки весной. Для этого по графику рис.17 нужно установить минимальное значение коэффициента уплотнения грунта в этот период, которое можно ожидать при многократном промерзании-оттаивании в условиях, когда не происходит усадки грунта. Эту величину определяют по графику в зависимости от плотности грунта в момент постройки дороги и давления на рассматриваемый слой земляного полотна от веса вышележащего грунта и дорожной одежды. Затем по графику рис.18 устанавливают осадку грунта

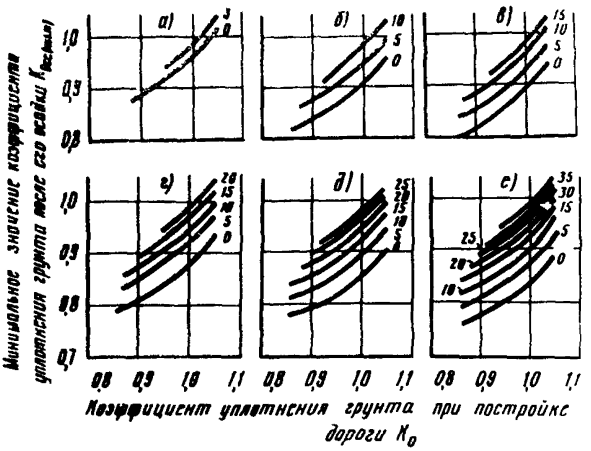


Рис.17. Графики для определения минимального коэффициента уплотнения грунта после осадки мелкого песка (а); пылеватого песка (б); пылеватой супеси (в); легкого суглинка (г); тяжелого суглинка (д); пылеватой глины (е). Цифры на кривых - давление на грунт, кПа

$h_{осад}$, м, при известных значениях коэффициента уплотнения грунта перед промерзанием, минимального коэффициента уплотнения после осадки и пучения грунта. После этого вычисляют коэффициент уплотнения грунта после его осадки весной

$$K_в = \frac{K_з}{1 - \frac{h_{осад}}{h_{пр} + h_{пуч}}}. \qquad (56)$$

Влажность, соответствующую этой плотности, вычисляют по формуле

$$W_в = \frac{\rho_{гр} - K_в \rho_{max}}{K_в \rho_{max} \rho_{гр}} \rho_в. \qquad (57)$$

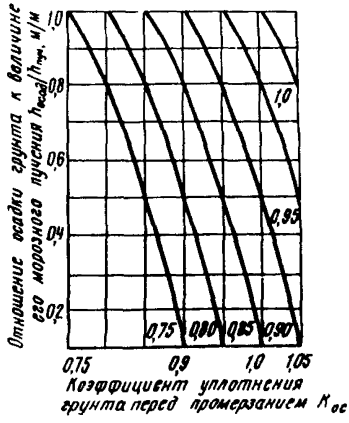


Рис.18. График для определения осадки грунта в расчетном году. Цифры на кривых – минимальное значение коэффициента уплотнения грунта после его осадки

Расчет заканчивают определением коэффициента уплотнения грунта в летний период

$$K_л = \frac{K_в}{1 - e_{ус}}; \qquad (58)$$

$$e_{ус} = 1 - \frac{1 + a_{ус} W_A}{1 + a_{ус} W_B}, \qquad (59)$$

где $a_{ус}$ – коэффициент линейной усадки грунта, безразмерная величина;

W_A – влажность грунта в летний период, доли единицы.

При ориентировочных расчетах можно использовать приведенные ниже значения коэффициента линейной усадки грунта:

Песок пылеватый и супесь легкая	0,1
Супесь пылеватая и тяжелая пылеватая . . .	0,2
Суглинки тяжелые, тяжелые пылеватые и глины	0,5

В расчет вводят величину влажности грунта под дорожной одеждой в летний период, равную оптимальной, при 1-м и 2-м типах увлажнения земляного полотна; при 3-м типе влажность определяют по эпюре влажности (см. рис. 4).

Грунты под дорожной одеждой практически не набухают, поэтому их плотность осенью принимают равной величине, установленной по формуле (58).

gost.e-ecolog.ru