МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Москва 1977

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВСЕСОЮЗНЫЙ ДОРОЖНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(СОЮЗДОРНИИ)

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Москва 1977

УДК 625.72:624.139.34

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМУ РАСЧЕТУ НАСЫПЕЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ. Союздорнии.М..1977.

Предложен метод расчета глубины сезонного оттаивания (промерзания) и среднегодовой температуры в насыпях и основаниях автомобильных дорог. Определен критерий выбора расчетного метода дорожных конструкций на осадку или пучение.

Приводятся примеры расчета среднегодовой температуры, глубины и времени оттаивания (промерзания) дорожных конструкций и сравнение результатов с фактическими данными.

Табл.5, рис.7.

© Союздорнии, 1977 г.

Предисловие

"Методические рекомендации по теплотехническому расчету насыпей автомобильных дорог" разработаны в развитие и дополнение ВСН 84-75 и предназначены для определения среднегодовой температуры и глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов в насыпях и основаниях автомобильных дорог, глубины оттаивания (промерзания) в однородном грунтовом массиве и в слоистой системе на любой момент времени, времени оттаивания (промерзания) грунтового слоя определенной толщины и времени смыкания промерзающего слоя с вечномерзлыми грунтами.

При доработке рекомендаций учтены замечания МАДИ, ВАТТ, НИИоснований и подземных сооружений, СибЦНИИС, Гипродорнии и других научно-исследовательских и проектных организаций.

"Методические рекомендации" составили канд. техн. наук В.А.Давыдов (СибАДИ), инженеры С.М.Козырев (Омский филиал Союздорнии), Б.Ф.Бржезицкий (Омскавтодор).

Все замечания и предложения по настоящей работе просьба направлять по адресу: 143900 Московская обл., Балашиха-6, Союздорнии или 644080 г.Омск-80, Проспект Мира, 3, Омский филиал Союздорнии.

I. Общие положения

1.1. Действующими нормативными документами при проектировании автомобильных дорог в районах с сезонным промерзанием грунтов рекомендуется рассчитывать дорожные конструкции на общее пучение, а в районах с сезонным оттаиванием грунтов - на осадку.

1.2. Сезонное промерзание представляет собой промерзание талых грунтов, имеющих среднюю годовую температуру выше или равную 0°. Слой сезонного промерзания подстилается немерзлыми грунтами; его мощность определяется теплооборотами, происходящими при отрицательных температурах грунтов.

1.3. Сезонное оттаивание представляет собой оттаивание мерзлых грунтов, имеющих среднюю годовую температуру ниже 0°. Слой сезонного оттаивания подстилается вечномерзлыми грунтами и формируется за счет теплооборотов, идущих при положительных температурах грунтов.

1.4. В районах с суровым климатом, где имеет место сезонное промерзание и оттаивание грунтов, не всегда удается сделать правильный выбор требуемого метода расчета дорожных конструкций. Это объясняется прежде всего тем, что в настоящее время в существующих методиках по назначению высоты насыпей отсутствует прогноз температурного режима автомобильных дорог и их оснований, который позволяет устанавливать условие, характеризующее сезонное промерзание или оттаивание грунтов.

Такое условие может быть представлено в виде

$$t_{\xi} \geqslant \theta \qquad \text{или} \qquad t_{\xi} < \theta,$$

где t_{ξ} - среднегодовая температура грунтов на подошве сезонно-промерзающего или сезонно-оттаивающего слоя, $^{\circ}C$;

θ – температура замерзания грунта, °С.

Если $t_{\xi} \geq \theta$, то имеет место сезонное промерзание грунтов, если $t_{\xi} < \theta$ – сезонное оттаивание.

Следовательно, критерием выбора расчетного метода дорожных конструкций на осадку или пучение может служить среднегодовая температура грунтов под дорожным покрытием.

2. Назначение исходных параметров

2.1. Среднегодовую температуру поверхности дорожного покрытия $t_{п}$ устанавливают по формуле

$$t_{п} = t_{в} + \Delta t_{1}, \qquad (1)$$

где $t_{в}$ – среднегодовая температура воздуха, определяемая по СНиП 11-А.6-72, °С;

Δt_{1} – температурная поправка, °С, принимается по графику рис.1 в зависимости от материала покрытия и широтного расположения автомобильной дороги.

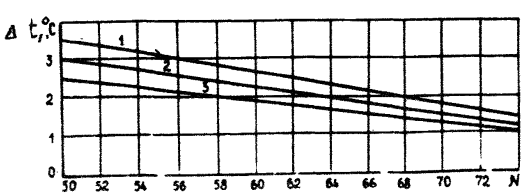

Рис. 1. Зависимость температурной поправки от широтного расположения автомобильной дороги и материала покрытия: 1 – гравий; 2 – асфальтобетон; 3 – цементобетон

2.2. Годовую (физическую) амплитуду колебаний температур на поверхности покрытия $A_п$ определяют по формуле

$$A_п = \frac{A_в}{2} + \Delta t_п \,, \qquad (2)$$

где $A_в$ – метеорологическая амплитуда колебаний температур воздуха, °С,

$$A_в = |t_{max}| + |t_{min}| \,;$$

t_{max}, t_{min} – среднемесячная температура соответственно самого теплого и самого холодного месяцев, °С;

$\Delta t_п$ – амплитудная поправка, °С, принимается равной: для гравийного (щебеночного) покрытия 3,2, асфальтобетонного – 2,7, цементобетонного – 2,2.

2.3. Среднегодовую температуру грунтов $t_ξ$ находят по формуле

$$t_ξ = t_п - \Delta t \,, \qquad (3)$$

где $t_п$ – среднегодовая температура поверхности, °С;

Δt – температурная сдвижка, °С; устанавливают по графику рис.2 в зависимости от среднегодовой температуры, годовой (физической) амплитуды колебаний температур на поверхности покрытия и теплофизических свойств слоев дорожной одежды, грунтов насыпи и основания. Δt слоистой конструкции устанавливают по средневзвешенным значениям теплофизических свойств слоев системы "дорожная одежда – насыпь – основание".

2.4. Отепляющее влияние снегового покрова β определяют по формуле В.А.Кудрявцева

$$\beta = \frac{A_в}{2}\left(1 - e^{-z\sqrt{\frac{\pi}{K_{сн} \cdot T}}}\right) \,, \qquad (4)$$

где $A_в$ – метеорологическая амплитуда температурных колебаний воздуха, °С;

Z – высота снегового покрова, м;

$K_{сн}$ – коэффициент температуропроводности снега, м²/ч (табл.1).

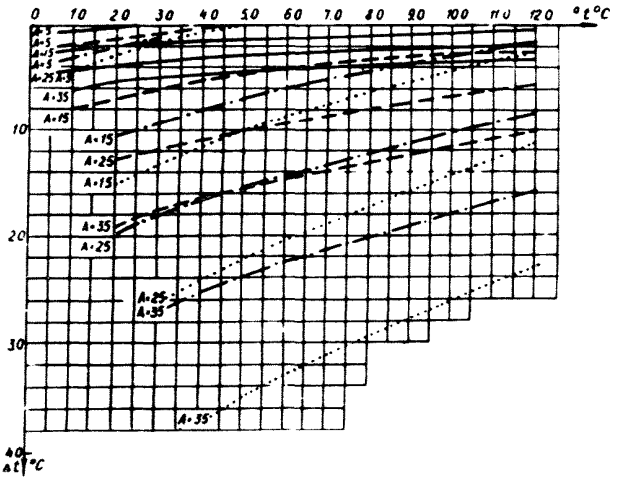

Рис. 2. Номограмма для определения величины температурной сдвижки в слое сезонного оттаивания (промерзания)

	Q	$\lambda_м$	$\lambda_т$
———	5000	0,85	0,8
— — —	15000	1,20	1,0
— · —	25000	1,70	1,3
· · · · ·	35000	1,90	1,3

Q – количество теплоты, ккал/м³;

$\lambda_{м(т)}$ – соответственно коэффициент теплопроводности мерзлого (талого) грунта, ккал/м·ч·град

Значение величины $(1 - e^{-z\sqrt{\frac{\pi}{K_{сн} T}}})$ в за

температуро

Плотность снегового покрова, г/см^3	Коэффициент температуропроводности $K_{сн}$	Высота z снего		
		0,1	0,2	0,3
0,075	0,0010	0,094	0,181	0,259
0,110	0,0015	0,081	0,155	0,224
0,150	0,0020	0,071	0,136	0,197
0,190	0,0025	0,064	0,123	0,178
0,225	0,0030	0,058	0,113	0,164
0,250	0,0035	0,054	0,105	0,153
0,300	0,0040	0,051	0,098	0,143
0,340	0,0045	0,048	0,093	0,136
0,380	0,0050	0,045	0,088	0,130
0,415	0,0055	0,043	0,084	0,124

Примечание. Таблица взята из "Методики ком геологической съемки масштабов 1:200000 и 1:500000"

2.5. Высоту снегового покрова z на элементах насыпи принимают равной высоте снегового покрова на естественной открытой площадке в районе строительства дороги по СНиП 11-А.6-72.

2.6. Количество теплоты фазовых переходов воды в грунте $Q_ф$ определяют по выражению

$$Q_ф = 80\gamma_{ск}\frac{(W - W_{нз})}{100}, \qquad (5)$$

Таблица 1

висимости от высоты, плотности и коэффициента проводности снегового покрова

вого покрова, м						
0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,329	0,328	0,451	0,503	0,551	0,597	0,632
0,288	0,345	0,400	0,447	0,491	0,482	0,572
0,253	0,306	0,355	0,400	0,442	0,432	0,518
0,230	0,279	0,324	0,367	0,407	0,445	0,480
0,213	0,259	0,302	0,343	0,381	0,416	0,450
0,198	0,242	0,282	0,321	0,357	0,392	0,425
0,186	0,227	0,267	0,303	0,338	0,371	0,403
0, 178	0,216	0,254	0,289	0,323	0,356	0,386
0,169	0,206	0,242	0,277	0,309	0,341	0,371
0,161	0,197	0,232	0,265	0,297	0,327	0,356

плексной мерзлотно-гидрогеологической и инженерно- (Кудрявцев В.А. и др. Изд-во МГУ,1970).

где $\gamma_{ск}$ - объемный вес скелета грунта, кг/м^3;
W - весовая влажность, %;
$W_{нз}$ - количество незамерзающей воды, %.

2.7. Количество незамерзающей воды $W_{нз}$ находят по графику (рис. 3) при средней зимней температуре грунта $t^{ср}_{зим}$, которую определяют по формуле

$$t^{ср}_{зим} = \frac{1}{2}(t_л - A_л), \qquad (6)$$

Таблица 2

Теплофизические характеристики материалов
(по ВСН 84-62)

Материал	Влажность W, %	Объемный вес γ, кг/м³	Влажность W, кг/м³	Удельная теплоемкость C, ккал/м³ · град.		Коэффициент теплопроводности λ, ккал/м. ч. град	
				$C_т$	$C_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$
Цементобетон	2,5	2200	54	423	396	1,15	1,22
Асфальтобетон	0,0	2340	0	491	491	1,09	-
Грунтощебеночная смесь	13,0	2110	249	675	555	1,02	1,45
	20,2	2240	378	805	615	1,10	1,54
Грунтогравийная смесь	9,3	1915	163	595	535	1,08	1,54
	10,0	1930	175	615	543	1,24	1,75
Галька (щебень):							
с песком	10,0	2040	160	612	510	1,93	2,90
глиной	10,0	2040	160	612	510	2,00	3,00
Песок гравелистый	5,1	2105	103	463	410	0,75	1,05
	5,9	2117	117	476	419	0,79	1,11
	6,6	2132	132	492	426	0,88	1,23
Мох, уплотненный искусственно	84	450	243	396	207	0,35	0,49
	700	617	333	562	290	0,44	0,86
Мох, уплотненный массой насыпи	233	256	125	202	112	0,32	0,45
	294	303	158	249	135	0,34	0,48
	333	333	179	279	151	0,39	0,55
Торф (сфагновый и сфагново-пушицевый), уплотненный массой насыпи	219	810	389	675	400	0,42	0,72
	356	966	565	800	496	0,48	0,84
	396	1100	595	965	545	0,65	1,10

Таблица 3

Расчетные значения теплофизических характеристик талых и мерзлых грунтов

Объемная масса $\gamma_т$/м^3	Суммарная влажность грунта, доли единиц	Коэффициент теплопроводности грунта в ккал/м·ч·град						Объемная теплоемкость грунта, ккал/м^3·град	
		Пески		Супеси		Суглинки и глины			
		$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$\lambda_т$	$\lambda_м$	$c_т$	$c_м$
1,2	0,05	0,4	0,52	–	–	–	–	289	260
	0,10	0,62	0,79	0,38	0,45	–	–	320	270
1,4	0,05	0,57	0,69	–	–	–	–	330	300
	0,10	0,87	1,08	0,52	0,69	0,44	0,68	370	315
	0,15	1,00	1,25	0,71	0,88	0,56	0,84	410	330
	0,20	–	–	0,84	1,05	0,65	0,94	450	345
	0,25	–	–	0,92	1,16	0,72	1,00	490	360
1,6	0,05	0,75	0,91	–	–	–	–	380	340
	0,10	1,05	1,35	–	–	–	–	430	360
	0,15	1,25	1,60	0,93	1,10	0,72	0,98	470	370
	0,20	1,36	1,73	1,05	1,29	0,88	1,12	520	395
	0,25	1,41	1,82	1,16	1,44	0,96	1,24	565	410
	0,30	–	1,93	1,20	1,55	1,00	1,30	610	430
	0,35	–	–	1,30	1,65	1,05	1,35	650	445
	0,40	–	–	–	1,72	1,10	1,41	700	465
	0,60	–	–	–	–	–	1,50	–	500
1,8	0,10	1,30	1,60	–	–	–	–	480	400
	0,15	1,55	1,90	1,19	1,31	1,00	1,23	530	420
	0,20	1,65	2,10	1,34	1,52	1,12	1,38	580	440
	0,25	1,75	2,23	1,43	1,70	1,24	1,53	640	460
	0,30	–	2,32	1,48	1,82	1,28	1,61	690	480
	0,35	–	–	1,51	1,93	1,33	1,66	740	500
	0,40	–	–	–	2,00	1,40	1,72	795	520
	0,60	–	–	–	–	–	1,80	–	560
2,0	0,15	1,76	2,20	1,40	1,50	–	–	590	470
	0,20	2,00	2,42	1,56	1,75	1,24	1,50	650	490
	0,25	2,26	2,72	1,73	1,93	1,35	1,65	705	510
	0,30	–	–	1,80	2,10	1,44	1,75	770	530
	0,35	–	–	–	–	1,53	1,86	820	555

Примечание. Таблица взята из "Пособия по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений на вечномерзлых грунтах" (М., 1989).

где $t_п$ – среднегодовая температура поверхности покрытия, °С;

$A_п$ – годовая (физическая) амплитуда колебаний температур на поверхности покрытия, °С.

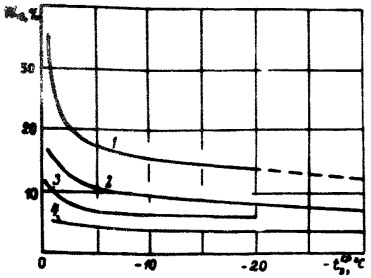

Рис. 3. Количество незамерзающей воды:
1 – глина пылеватая; 2 – суглинок пылеватый; 3 – супесь тяжелая пылеватая; 4 – песок мелкозернистый пылеватый

2.8. Коэффициент температуропроводности K_T устанавливают по выражению

$$K_T = \frac{\lambda_{T(M)}}{C_{T(M)}}, \qquad (7)$$

где $\lambda_{T(M)}, C_{T(M)}$ – соответственно коэффициент теплопроводности и объемная теплоемкость талого (мерзлого) грунта.

Значения коэффициентов теплопроводности ориентировочно принимают по табл. 2 и 3.

3. Расчет среднегодовой температуры грунтов на подошве сезонноотаивающего (сезоннопромерзающего) слоя в системе „насыпь - основание"

3.1. Среднегодовую температуру грунтов на подошве сезонноотаивающего (сезоннопромерзающего) слоя по оси системы "насыпь–основание" t_{ξ}^{c} определяют по формуле

$$t_{\xi}^{c} = \frac{1}{K} t_{\xi} + K_1 \beta \pm \Delta t_{\xi}^{T}, \qquad (8)$$

где t_{ξ}^{c} – расчетная (ожидаемая) среднегодовая температура грунтов в системе "насыпь–основание", °С;

K – коэффициент, учитывающий влияние размеров поперечного профиля насыпи, принимается равным отношению периметра поперечного профиля к ее ширине по низу, доли единицы;

t_{ξ} – среднегодовая температура грунтов в системе "насыпь–основание" без учета влияния поперечного профиля насыпи, снегового покрова на обочинах и откосах и температурного режима грунтов прилегающей территории, °С;

K_1 – коэффициент теплового влияния снегового покрова, лежащего на обочинах и откосах насыпи, на среднегодовую температуру грунтов в системе "насыпь–основание", доли единицы,

$$K_1 = \frac{2L + B - b}{2L + B};$$

L – длина откоса насыпи;

B – ширина земляного полотна по верху;

b – ширина проезжей части;

β – отепляющее влияние снегового покрова на обочинах и откосах насыпи на температурный режим грунтов под этими элементами, °С;

Δt^{τ}_{ξ} – влияние температурного режима грунтов на прилегающей к насыпи территории, °С.

3.2. Влияние температуры грунтов прилегающей территории на температурный режим дорожной конструкции Δt^{τ}_{ξ} определяют по формуле

$$\Delta t^{\tau}_{\xi} = 14\rho \frac{t^{\tau}_{\xi} - \frac{1}{K} t_{\xi} - K_1 \beta}{z}, \qquad (9)$$

где ρ – коэффициент размерности, ρ = 1 м;

t^{τ}_{ξ} – температура грунтов на прилегающей территории, °С, определяемая по методике В.А.Кудрявцева или принимаемая по данным изысканий;

z – расстояние от оси насыпи до точки, в которой определяют температуру грунтов прилегающей территории t^{τ}_{ξ} при безрезервном поперечном профиле z = 20÷25 м; при поперечном профиле с притрассовыми резервами – расстоянию от оси насыпи до середины резерва.

4. Расчет амплитуды температур на поверхности грунтовых слоев

4.1. Амплитуду температур на поверхности грунтового слоя, который не соприкасается непосредственно с воздушной средой (например, слой n), можно установить из выражения

$$A^{n}_{n} = A^{n-1}_{n} \cdot e^{-h_{n-1}\sqrt{\frac{\pi}{K^{n-1}_{T(M)} \cdot T}}}, \qquad (10)$$

где A^{n-1}_{n} – амплитуда температур на поверхности вышележащего слоя $n-1$, °С;

h_{n-1} – толщина вышележащего слоя $n-1$, м;

$K^{n-1}_{T(M)}$ – коэффициент температуропроводности вышележащего слоя, м²/ч

или по номограмме (рис.4).

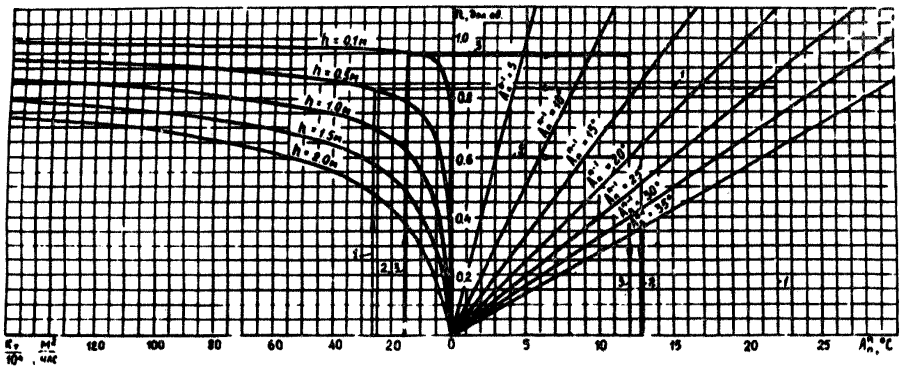

Рис. 4. Номограмма для определения амплитуды температур на поверхности грунтового слоя, не соприкасающегося непосредственно с воздушной средой

4.2. Расчет по номограмме (рис.4) производят в следующем порядке:

1) определяют n в зависимости от коэффициента температуропроводности $K_{T(M)}^{n-1}$ и толщины вышележащего слоя h_{n-1};

2) по n и амплитуде на поверхности вышележащего грунтового слоя A_n^{n-1} устанавливают амплитуду на поверхности грунтового слоя A_n^n.

5. Расчет глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов насыпей и их оснований

5.1. Глубину сезонного оттаивания (промерзания) дорожной конструкции из однородного грунта определяют по формуле

$$H_{отт\,(пр)} = \xi \sqrt{\frac{\tau_{л(з)} \cdot \lambda_{T(M)} \cdot Q_\phi^\circ}{\tau_0 \cdot \lambda_{T(M)}^\circ \cdot Q_\phi}}, \qquad (11)$$

где ξ – глубина сезонного оттаивания (промерзания) грунта, определенная по номограмме В.А.Кудрявцева и В.Г.Меламеда в зависимости от амплитуды температур на поверхности A_n, среднегодовой температуры грунта $t_{ср}$ при $\tau_0 = 4380$ ч, $C_{T(M)}^\circ = 300$ ккал/м^3·град; $Q_\phi^\circ = 5000$ ккал/м^3; $\lambda_{T(M)}^\circ = 1$ ккал/м·ч·град

$\tau_{л(з)}$ – продолжительность летнего (зимнего) периода в районе проектируемой дороги, ч;

$\lambda_{T(M)}$ – коэффициент теплопроводности грунтового слоя мощностью $H_{отт\,(пр)}$, ккал/м·ч·град;

Q_ϕ – теплота фазовых превращений воды в слое $H_{отт\,(пр)}$, ккал/м^3

или по номограмме (рис.5).

5.2. Расчет по номограмме производят в такой последовательности:

1) определяют ξ в зависимости от среднегодовой температуры t_ξ и амплитуды температур на поверхности грунта

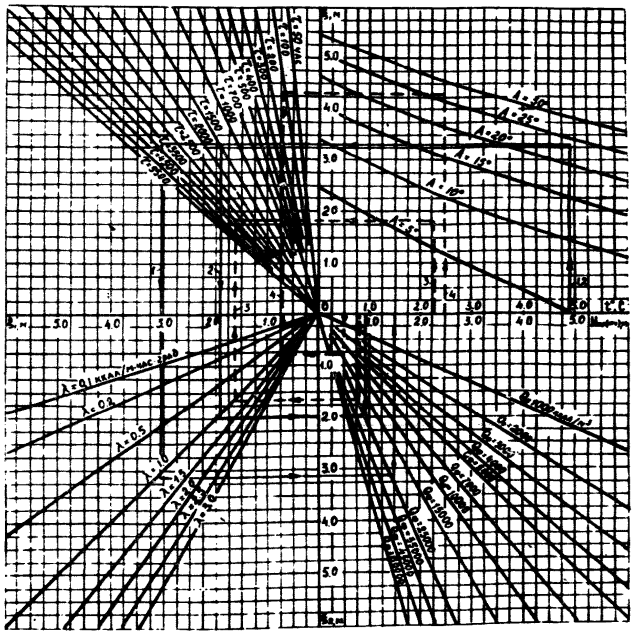

Рис. 5. Номограмма для определения глубины и времени оттаивания (промерзания) грунта

2) по ξ и $\tau_{a(з)}$ устанавливают значение параметра ξ_1;

3) по ξ_1 и $\lambda_{т(м)}$ находят значение параметра ξ_2;

4) по ξ_2 и Q_φ определяют глубину оттаивания (промерзания) грунта $H_{отт(пр)}$.

5.3. Глубину оттаивания (промерзания) слоистой дорожной конструкции рассчитывают по формуле

$$H^{мс}_{отт(пр)} = \sum_{1}^{i=n-1} h_i + H^{n}_{отт(пр)}, \qquad (12)$$

где $H^{мс}_{отт(пр)}$ – глубина сезонного оттаивания (промерзания) в системе "насыпь–основание", м;

$\sum_{1}^{i=n-1} h_i$ – мощность полностью оттаивающих (промерзающих) грунтовых слоев, м;

$H^{n}_{отт(пр)}$ – глубина оттаивания (промерзания) нижележащего слоя, м.

5.4. Для того чтобы установить, на всю ли толщину или только на некоторую ее часть оттаивает (промерзает) грунтовый слой, который в системе "насыпь–основание" не соприкасается непосредственно с воздушной средой, следует сопоставить время его оттаивания (промерзания) с продолжительностью летнего (зимнего) периода, уменьшенного на время оттаивания (промерзания) вышележащих слоев.

Грунтовый слой $n-1$ оттаивает полностью, если соблюдается неравенство

$$\tau^{n-1}_{л(з)} \leqslant \tau_{л(з)} - \sum_{1}^{i=n-1} \tau^{i}_{л(з)}, \qquad (13)$$

где $\tau^{n-1}_{л(з)}$ – время, необходимое для оттаивания (промерзания) грунтового слоя $n-1$, ч;

$\sum_{1}^{i=n-2} \tau^{i}_{л(з)}$ – время, необходимое для оттаивания (промерзания) слоев, лежащих выше слоя $n-2$, ч;

$\tau_{л(з)}$ – продолжительность летнего (зимнего) периода, ч.

5.5. Время оттаивания (промерзания) грунтового слоя $\tau^{i}_{\Lambda(3)}$ может быть найдено по номограмме (см. рис.5). Оно зависит от амплитуды температур на поверхности A_n, среднегодовой температуры грунтов слоистой системы t^{c}_{ξ}, коэффициента теплопроводности $\lambda^{i}_{T(M)}$ и теплоты фазовых превращений воды в грунте Q_{ϕ}.

5.6. Если условие (13) не соблюдается, то грунтовый слой в системе "насыпь-основание" оттаивает (промерзает) не на всю толщину. Глубину оттаивания (промерзания) такого слоя устанавливают по номограмме (см.рис.5).

Примеры расчета

Пример 1. Определить глубину сезонного промерзания однородного грунтового массива при следующих исходных данных:

$A_n = 24^\circ$; $t_\xi = 4{,}9^\circ$; $\tau_з = 3660$ ч;

$\lambda_т = 1{,}07$ ккал/м·ч·град; $Q_ф = 23680$ ккал/м^3.

Расчет

Глубину сезонного промерзания находим по номограмме (см.рис.5, линия 1) и рассчитываем в следующем порядке: по t_ξ и A_n устанавливаем ξ; по ξ и $\tau_з$ определяем ξ_1; по ξ_1 и $\lambda_т$ находим ξ_2; по ξ_2 и $Q_ф$ устанавливаем $H_{пр} = 1{,}5$ м.

Пример 2. Определить глубину промерзания через 60 дней (1440 ч) после наступления отрицательных температур воздуха. Исходные данные для расчета те же, что и в примере 1 (за исключением $\tau_з$).

Расчет

Расчет по номограмме (см.рис.5, линия 2) ведем в той же последовательности, что и в примере 1.

Устанавливаем, что $H_{пр} = 0{,}95$ м.

Пример 3. Определить время смыкания сезонноотаивающего слоя с вечномерзлыми грунтами, если $A_n = 7{,}5^\circ$;

$t_\xi = -2{,}3^\circ$; $\lambda_м = 1{,}07$ ккал/м·ч·град;

$Q_ф = 23680$ ккал/м^3; $H_{отт} = 0{,}8$ м.

Расчет

Время смыкания $\tau_{см}$ находим по номограмме (см. рис.5, линия 3). Расчет ведем в такой последовательности: по t_ξ и A_n находим значение ξ; по $H_{отт}$ и $Q_ф$

устанавливаем ξ_2 ; по ξ_2 и $\lambda_м$ определяем ξ_1 ; по ξ_1 и ξ находим $\tau_{см} = 3370$ ч.

Пример 4. Определить время оттаивания слоя щебня τ_1 толщиной $h_1 = 0{,}5$ м, если $A_п = 26{,}5^{\circ}$; $t_\xi^c = -2{,}5^{\circ}$; $\lambda_т = 1{,}32$ ккал/м·ч·град; $Q_ф = 13300$ ккал/м^3.

Расчет

Время оттаивания τ_1 находим по номограмме (см. рис.5, линия 4). Расчет ведем в той же последовательности, что и в примере 3, причем значение ξ_2 устанавливаем по h_1 и $Q_ф$. Получаем $\tau_1 = 120$ ч.

Пример 5. Определить среднегодовую температуру грунтов системы "насыпь-основание" (рис.1 приложения) при следующих исходных данных: годовая амплитуда колебаний температур на поверхности насыпи $A_п = 26{,}5^{\circ}$; среднегодовая температура поверхности насыпи $t_п = -5{,}6^{\circ}$; отепляющее влияние снегового покрова $\beta = 6{,}8^{\circ}$; среднегодовая температура грунтов на прилегающей к насыпи территории $t_\xi^т = -2{,}5^{\circ}$.

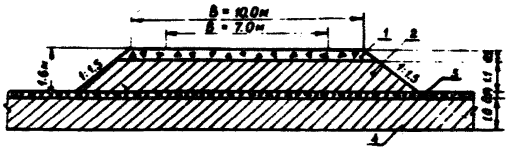

Рис. 1. Конструкция системы "насыпь-основание"
1,2, 3,4 - номера грунтовых слоев

Среднегодовая температура грунтов в системе "насыпь-основание" без учета влияния поперечного профиля насыпи, снегового покрова на обочинах и откосах и

температурного режима грунтов прилегающей территории t_{ξ} = -7,1° (определена по методике В.А. Кудрявцева). Теплофизические свойства грунтовых слоев приведены в табл. 1.

Таблица 1

Теплофизические свойства грунтовых слоев

Номер слоя	Материал (толщина слоя, м)	$\frac{\lambda_г}{\lambda_м}$ ккал/м·ч·град	$C_г$, ккал/м³·град	$K_г$, м²/ч	$Q_{ф}$ ккал/м³
1	Щебень (0,5)	1,32 / 1,61	490	27×10^{-4}	13300
2	Глина (1,1)	1,26 / 1,57	795	16×10^{-4}	29550
3	Растительный покров (0,14)	0,32 / 0,45	200	16×10^{-4}	25800
4	Глина пылеватая (1,0)	1,29 / 1,60	810	16×10^{-4}	30600

Расчет

Среднегодовую температуру грунтов в системе "насыпь-основание" находим по формуле (8):

$$t_{\xi}^{c} = \frac{1}{K} t_{\xi}^{г} + K_1 \beta \pm \Delta t_{\xi}^{г} = \frac{1}{1,1}(-7,1) + 0,57 \cdot 6,8 + 0 = -2,5^{\circ};$$

$$K = \frac{2L + B}{2mh + B} = \frac{2 \cdot 3,1 + 10}{2 \cdot 2,4 + 10} = 1,1;$$

$$K_1 = \frac{2L + B - b}{2L + B} = \frac{2 \cdot 3{,}1 + 10 - 7}{2 \cdot 2{,}4 + 10} = 0{,}57.$$

$$\Delta t_\xi^\tau = 14\rho \frac{t_\xi^\tau - \frac{1}{K} t_\xi - K_2 \beta}{Z} = 14 \cdot 1 \frac{(-2{,}5) - \frac{1}{1{,}1}(-7{,}1) - 0{,}57 \cdot 6{,}8}{25} = 0^\circ.$$

Пример 6. Определить глубину сезонного оттаивания (пост № 26) в системе "насыпь-основание" (см. рис.1 приложения), если амплитуда температур на поверхности первого слоя $A_1 = 26{,}5^\circ$, продолжительность летнего периода $\tau_л = 3300$ ч, среднегодовая температура грунтов в системе $t_\xi^c = -2{,}5^\circ$. Теплофизические свойства грунтовых слоев приведены в табл.1 приложения.

Расчет

Расчет выполняем по номограмме (см.рис.4 и рис.2 приложения) в следующем порядке.

Определяем время оттаивания первого слоя (пример 4). $\tau_1 = 120$ ч, $120 < 3300$, следовательно, первый слой оттаивает на всю толщину.

Находим (см.рис.4, линия 1) амплитуду температур на поверхности второго слоя A_2 в зависимости от $K_T' = 28 \times 10^{-4}$, $h_1 = 0{,}5$ м и $A_1 = 26{,}5^\circ$.

По K_T' и h_1 устанавливаем значение параметра n; по A_1 и n находим $A_2 = 22^\circ$.

По $t_\xi^c = -2{,}5^\circ$, $A_2 = 22{,}0^\circ$, $h_2 = 1{,}1$, $Q_\varphi^2 = 29550$, $\lambda_T^2 = 1{,}26$ (см.рис.2 приложения, линия 1) устанавливаем время оттаивания второго слоя $\tau_2 = 1675$ ч; $1675 < 3300 - 120 = 3180$.

По $K_T^2 = 16 \times 10^{-4}$, $h_2 = 1{,}1$ и $A_2 = 22{,}0^\circ$ (см.рис. 4, линия 2) находим $A_3 = 12{,}8^\circ$.

По $t_\xi^c = -2{,}5^\circ$, $A_3 = 12{,}8^\circ$, $h_3 = 0{,}14$, $Q_\varphi^3 = 25800$

Сравнение фактических глубин сезонного оттаи

Дорога	Номер постов	Годы наблюдений	Конструкция насыпи / основания	h_n, °С	$\tau_л$, ч
Мирный–Чернышевск	26	1966–67 1967–68	Щебень – 0,5 м Глина – 1,1 м Растительный покров – 0,14 м Глина пылеватая – 2м	26,5 27,7 22,0 23,1 12,8 13,2 12,0 12,3	3300 3620
Романовка–Багдарин	19	1966–67 1967–68	Глина тяжелая – 1,1м Растительный покров – 0,10 м Глина тяжелая – 3 м	27,4 26,9 16,3 15,9 15,4 15,0	4030 4176
Якутск – Намцы	9	1966–67 1967–68	Супесь – 1,4 м Супесь легкая – 2,5 м	33,9 34,6 18,2 18,6	3450 3600

Таблица 2

вания с рассчитанными по методике

$Q_ф$, ккал/м³	$C_т$, ккал/м³·°С	$\lambda_т$, ккал/м·ч·°С	$t^c_ξ$, °С	Глубина протаивания: фактическая $H_{пр}$, м	расчетная $H_{пр}$, м	отклонение: м	отклонение: %
13300	490	1,32	-2,5 -1,2	2,50 2,70	2,39 2,87	-0,11 +0,17	4,4 6,3
29550	795	1,26					
25800	200	0,32					
30600	810	1,29					
25700	680	1,05	-1,2 -1,2	2,50 2,50	2,55 2,53	+0,05 +0,03	2,0 1,2
35000	200	0,32					
36900	861	1,50					
5760	470	0,85	-3,9 -3,4	3,10 3,05	3,20 3,40	+0,10 +0,35	3,2 11,5
8000	470	0,90					

λ_T^3 = 0,32 (см.рис.2 приложения, линия 2) определяем τ_3 = 250 ч; 250 < 3300 - 120 - 1675 = 1505.

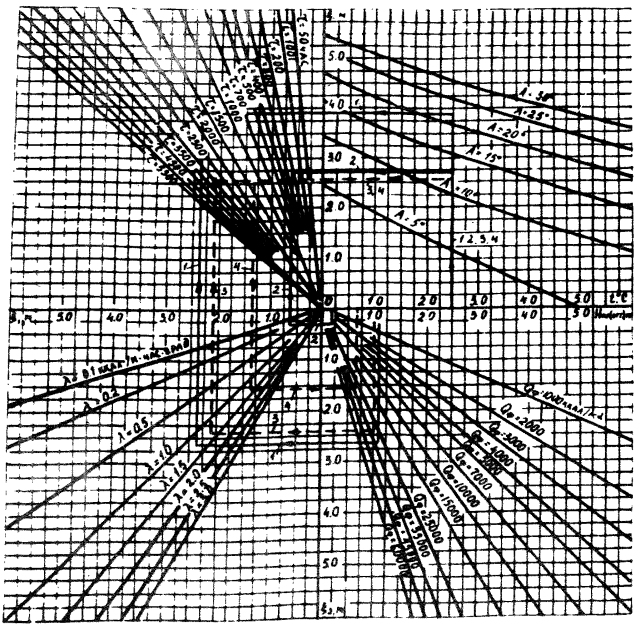

Рис. 2. Номограмма для определения глубины и времени оттаивания (промерзания) грунтовых слоев в системе "насыпь-основание"

По $K_T^3 = 16 \times 10^{-4}$, h_3 = 0,14 и t_3 (см.рис.4, линия 3) устанавливаем $t_4 = 12^\circ$.

По $t_\xi^c = -2{,}5^\circ$, $t_4 = 12^\circ$, h_4 = 1,0, Q_φ^4 = 30600,

$\lambda_т^ч$ = 1,29 (см.рис.2 приложения, линия 3) находим $\tau_з$ = 3000 ч; 3000 > 3300–120–1675–250=1255.

Следовательно, четвертый слой оттаивает не полностью, а на некоторую глубину $H_{отт}^{ос}$.

По $t_ξ^б$ = -2,5°, $k_ч$ = 12°, $\tau_ч$ = 1255, $\lambda_т^ч$ = 1,29 и $Q_ф^ч$ = 30600 (см.рис.2 приложения, линия 4) устанавливаем $H_{отт}^{ос}$ = 0,65 м.

По формуле (12) определяем глубину оттаивания грунтов в системе "насыпь–основание";

$$H_{отт} = \sum_{i=1}^{i=n-1} h_i + H_{отт}^{п} = 0,5+1,1+0,14+0,65 = 2,39 \text{ м};$$

$$H_{отт}^{факт} = 2,5 \text{ м}. \text{ Отклонение} - 4,4\%.$$

Аналогично были просчитаны дорожные конструкции на постах № 19 и 2. Результаты сравнения рассчитанных глубин оттаивания с фактическими приведены в табл. 2 приложения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бржезицкий Б.Ф., Давыдов В.А. К методике определения глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов. Бюллетень объединения "Северовостокзолото–Колыма". Магадан, 1972.

2. Бржезицкий Б.Ф. Прогнозирование мерзлотных явлений в земляном полотне. – "Автомобильные дороги", 1975, № 10.

3. Достовалов Б.Н., Кудрявцев В.А. Общее мерзлотоведение. М., Изд-во МГУ, 1967.

4. Кудрявцев В.А. и др. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях. М., Изд-во МГУ, 1974.

5. Малышев А.А., Бржезицкий Б.Ф. Расчет глубины сезонного протаивания (промерзания) грунтов под насыпями автомобильных дорог, проектируемых на переувлажненных глинистых грунтах. - В сб. "Труды Союздорнии", вып.65. М., 1973.

6. Общее мерзлотоведение. (Под. ред. П.И.Мельникова и Н.И.Толстихина. ГНовосибирск, "Наука", 1974.

Оглавление

	Стр.
Предисловие	3
1. Общие положения	4
2. Назначение исходных параметров	5
3. Расчет среднегодовой температуры грунтов на подошве сезонноотаивающего (сезонно-промерзающего) слоя в системе "насыпь-основание".	15
4. Расчет амплитуды температур на поверхности грунтовых слоев	16
5. Расчет глубины сезонного оттаивания (промерзания) грунтов насыпей и их оснований. . .	18
Приложение.	22

Ответственный за выпуск Л.В.Королева

Редактор Ж.П.Иноземцева
Технический редактор А.В.Евстигнеева
Корректор Т.М.Лебедева

Подписано к печати 8.VI.1977г. Формат 60x84/16

Заказ 9-7 Дсп Тираж 500 2,0 печ.л. Цена 22 коп.

Ротапринт Союздорнии

gost.e-ecolog.ru