

УДК 625.731.1:634.0.383

И. И. ЛЕОНОВИЧ, Н. П. ВЫРКО,
кандидаты техн. наук

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЫСОТЫ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В ЗАПАДНЫХ РАЙОНАХ СССР

В настоящее время перед работниками лесного хозяйства и лесной промышленности западных районов, где ведется интенсивное лесное хозяйство, развита лесная и деревообрабатывающая промышленность, ставятся новые задачи по строительству дорог. Чтобы строить качественные автомобильные дороги при минимальных затратах, необходимо назначать оптимальные параметры всех конструктивных элементов. Один из таких параметров — минимальная высота земляного полотна.

В работах Н. Н. Иванова, А. К. Бирули, Н. А. Пузакова, Н. В. Орнатского, В. М. Сиденко и др. раскрыты процессы, протекающие в земляном полотне в результате колебаний температуры, изменения влажности грунтов, влияния различных местных факторов. Проведя целый ряд исследований, они установили важные зависимости и предложили формулы для практических расчетов.

Определение минимальной высоты земляного полотна чаще всего увязывается с глубиной промерзания грунтов и миграцией влаги, проходящей под действием капиллярных, осмотических и других сил.

Глубина промерзания грунтов и способы ее определения

Глубина и характер промерзания грунта зависят от температуры воздуха, степени увлажнения грунта, высоты снеж-

ного покрова, растительности, типа грунта и ряда других метеорологических и теплофизических факторов. Одним из первых теоретическую формулу для определения глубины промерзания грунта дал Стефан

$$Z = \sqrt{\frac{2\lambda Tn}{\rho\omega}}, \quad (1)$$

где Z — глубина промерзания, м;

λ — коэффициент теплопроводности грунта в мерзлом состоянии, *ккал/м·час·град*;

T — средняя отрицательная температура за период промерзания, °С;

n — длительность процесса промерзания, *час*;

q — скрытая теплота льдообразования, принимаемая равной 80 *ккал* на 1 *кг* замерзающей воды;

ω — количество замерзающей воды в 1 *м*³ грунта, *кг*.

Если величины T и n считаются известными, поскольку могут быть определены по данным метеостанций, то величины λ и ω колеблются даже в пределах года для одного и того же грунта в связи с миграцией влаги в процессе промерзания. Кроме того, формула Стефана не учитывает приток тепла из нижних талых слоев, а также теплоемкость скелета грунта.

Вопросы определения глубины промерзания грунта получили развитие в работах проф. В. С. Лукьянова [6]. Он ввел понятия «теплоемкость скелета грунта» и «приток тепла из нижних талых слоев». Однако его формула довольно сложна, к тому же входящие в нее коэффициенты весьма нестабильны.

Формулы, выведенные другими учеными, также не позволяют во всех случаях правильно определять глубину промерзания грунтов, так как факторы, влияющие на глубину их промерзания, слишком многообразны и слабо изучены. Многие исследователи (например, проф. Н. А. Пузаков [7], А. Н. Будников [1], Н. В. Стоценко [13], П. И. Колосков [3], В. Ф. Утенков [16], Г. И. Лапкин [4], Н. С. Темникова и др.) предлагают эмпирические формулы, разработанные на основе данных о глубине промерзания, полученных в результате наблюдения в естественных условиях. В этих формулах основной фактор, влияющий на глубину промерзания, — сумма среднесуточных отрицательных температур воздуха за зиму. Теплофизические свойства грунта, его влажность, тип и др. в них не учитываются. Но какова бы ни была степень точности учета разнообразных факторов, в любом случае необходимо вести непосредственные наблюдения. При строительстве дорог приходится иметь дело с грунтами различно-

го состава и влажности, причем обычно часто меняющимися. Исследовать все физико-технические свойства — дело весьма трудоемкое. Вот почему мы отказались от теоретических формул, признав наиболее удобным и достаточно точным статистический метод определения глубины промерзания грунта. Он основан на статистических данных глубины промерзания, то и расчет будет сводиться к ее определению. все факторы, обуславливающие их промерзание.

В том случае, когда мы располагаем данными о глубине промерзания грунта, весь расчет сводится к определению коэффициентов вариации C_v и асимметрии C_s , а по ним модульного коэффициента k_s . Поскольку при строительстве автодорог решающее значение имеет максимальная глубина промерзания, то и расчет будет сводиться к ее определению.

Рассмотрим расчет глубины промерзания грунта на примере данных метеостанции Горки. Выполняется он в следующем порядке.

1. По данным многолетних наблюдений метеостанции о глубине промерзания грунта составляется таблица глубин промерзания грунта в убывающем порядке (табл. 1).

2. Вычисляется средняя величина глубины промерзания грунта

$$H_{cp} = \frac{\sum H_i}{n}, \quad (2)$$

где $\sum H_i$ — сумма промерзания за n лет, см;
 n — число лет наблюдений.

3. Определяются модульные коэффициенты для каждого года наблюдений

$$K_s = \frac{H_i}{H_{cp}}, \quad (3)$$

где H_i — глубина промерзания i -го года, см.

4. Определяется коэффициент вариации C_v

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k_s - 1)^2}{n - 1}}; \quad (4)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{2,3566}{17}} = 0,37.$$

5. Вычисляется коэффициент асимметрии C_s .

$$C_s = \frac{\sum (k_s - 1)^3}{(n - 1) \cdot C_v^3}; \quad (5)$$

Таблица 1

Годы наблю- дений	$H_{\text{н. см}}$	$H_{\text{ср}} = \frac{\sum H_i}{n, \text{ см}}$	$k_s = \frac{H_i}{H_{\text{ср}}}$	$\frac{k_s - 1}{+}$		$(k_s - 1)^2$	$(k_s - 1)^3$	% обеспе- чен- ности
				+	-			
1954	145	1,8262	1,8262	0,8262	-	0,6826	0,5640	5,3
1960	130	1,6373	1,6373	0,6373	-	0,4061	0,2588	10,5
1956	118	1,4861	1,4861	0,4861	-	0,2363	0,1149	15,8
1963	105	1,3224	1,3224	0,3224	-	0,1039	0,0335	21,0
1962	97	1,2217	1,2217	0,2217	-	0,0492	0,0109	26,3
1949	86	1,0831	1,0831	0,0831	-	0,0069	0,0006	31,6
1947	82	1,0327	1,0327	0,0327	-	0,0011	-	36,8
1960	77	0,9698	0,9698	-	0,0302	0,0009	-	42,1
1961	76	0,9572	0,9572	-	0,0428	0,0018	-0,0001	47,4
1959	72	0,9058	0,9058	-	0,0932	0,0087	-0,0008	52,6
1955	66	0,8312	0,8312	-	0,1688	0,0285	-0,0048	57,9
1946	63	0,7934	0,7934	-	0,2066	0,0427	-0,0088	63,2
1951	62	0,7809	0,7809	-	0,2191	0,0480	-0,0105	68,4
1952	58	0,7305	0,7305	-	0,2695	0,0726	-0,0196	73,7
1957	58	0,7305	0,7305	-	0,2695	0,0726	-0,0196	78,9
1948	54	0,6801	0,6801	-	0,3199	0,1023	-0,0327	84,2
1953	40	0,5038	0,5038	-	0,4962	0,2462	-0,1222	89,5
1958	40	0,5038	0,5038	-	0,4962	0,2462	-0,1222	94,7
Сумма...	1429					2,3566	0,6414	

$$C_s = \frac{0,6414}{17 \cdot 0,37^3} = 0,74.$$

6. Вычисляется отношение коэффициентов $\frac{C_s}{C_v}$,

$$\frac{C_s}{C_v} = \frac{0,74}{0,37} = 2.$$

7. По вычисленным коэффициентам C_s , C_v и их отношению определяются (по способу С. И. Рыбкина, Э. Гумбеля или С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля) ординаты кривых обеспеченности, т. е. модульные коэффициенты.

По С. И. Рыбкину ординаты бинomialальной кривой обеспеченности при $C_s = 2 C_v$ находим по таблице [5]. Максимальная глубина промерзания грунта заданной обеспеченности при известном значении модульного коэффициента определяется по формуле

$$H_{np} = k_s \cdot H_{cp}. \quad (6)$$

Расчет можно свести в табл. 2.

Таблица 2

$$C_v = 0,37;$$

$$C_s = 2 \cdot C_v = 0,74;$$

$$H_{np} = 79,4 \text{ см}$$

Процент обеспеченности, P	Модульный коэффициент, k_s	Глубина промерзания, H_{np}
1	2,143	170
3	1,843	147
5	1,699	135
10	1,496	119
20	1,274	101
25	1,200	95
30	1,133	90
40	1,026	81
50	0,933	74
60	0,848	65
70	0,770	61
75	0,726	58
80	0,685	53
90	0,593	47
95	0,526	42
97	0,490	39
99	0,438	35

По способу Э. Гумбеля модульный коэффициент вычисляется по формуле

$$k_s = 1 + C_v \left(\frac{y - \bar{y}_n}{\sigma_n} \right), \quad (7)$$

где C_v — коэффициент вариации ($C_v = 0,37$);

y — действительное отклонение; находим в зависимости от $\Phi(y) = 1 - P$ [11];

\bar{y}_n, σ_n — среднее и стандартное отклонения; находим в зависимости от числа лет наблюдений [2] ($n = 18$ лет; $\bar{y}_n = 0,5202$ и $\sigma_n = 1,0493$).

Подставляя численное значение входящих в формулу (7) величин и найдя значение y по таблице Н. В. Смирнова [11], получим значение k_s (табл. 3), а значит, и искомую глубину промерзания.

Таблица 3

$C_v = 0,37; \quad C_s = 0,74; \quad H_{cp} = 79,4 \text{ см}$

N	$\Phi(y) = 1 - P$	y	$0,35 \cdot y$	$k_s = 0,815 + 0,35 y$	$H_{пр}, \text{ см}$
1	0,99	-1,527	-0,535	0,280	22
3	0,97	-1,255	-0,439	0,376	30
5	0,95	-1,097	-0,384	0,431	34
10	0,90	-0,834	-0,292	0,523	41
20	0,80	-0,476	-0,166	0,649	51
25	0,75	-0,327	-0,114	0,701	56
30	0,70	-0,186	-0,065	0,750	60
40	0,60	0,087	0,030	0,845	67
50	0,50	0,367	0,128	0,943	75
60	0,40	0,672	0,235	1,050	84
70	0,30	1,031	0,361	1,176	93
75	0,25	1,246	0,437	1,252	100
80	0,20	1,500	0,525	1,340	106
90	0,10	2,250	0,787	1,602	127
95	0,05	2,970	1,040	1,855	147
97	0,03	3,491	1,220	2,035	161
99	0,01	4,600	1,605	2,420	192

Применяя способ С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля, необходимо знать отношение $\frac{C_s}{C_v} = 2$; $C_v = 0,37$ и $C_s = 0,74$.

Имея эти данные, по таблицам [12] определим модульный коэффициент k_s , а расчет глубины промерзания сведем в табл. 4.

Таблица 4

$$C_v = 0,37; C_s = 0,74; H_{cp} = 79,4 \text{ см}$$

Процент обеспеченности	$\frac{C_s}{C_v} = 2$			Глубина промерзания $H_{пр}$, см
	C_v			
	0,3	0,37	0,4	
1	1,83	2,06	2,16	163
3	1,64	1,81	1,88	144
5	1,54	1,68	1,74	133
10	1,40	1,49	1,53	118
20	1,24	1,29	1,31	102
25	1,18	1,21	1,23	98
30	1,13	1,16	1,17	93
40	1,05	1,05	1,05	83
50	0,97	0,96	0,95	75
60	0,90	0,87	0,85	68
70	0,82	0,78	0,76	60
75	0,78	0,73	0,71	56
80	0,75	0,69	0,66	52
90	0,64	0,56	0,53	42
95	0,56	0,48	0,45	36
97	0,52	0,43	0,39	31
99	0,44	0,35	0,31	28

Для выбора кривой обеспеченности сравним фактическую глубину промерзания с глубиной, вычисленной различными способами (табл. 5).

Таблица 5

Процент обеспеченности P	Действительное промерзание, см	Глубина промерзания (в см), вычисленная по способу		
		С. И. Рыбкина	Э. Гумбеля	С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля
5	145	135	147	133
10	131	119	127	118
20	105	101	106	102

Из табл. 5 видно, что для определения глубины промерзания грунта заданной обеспеченности наиболее приемлем способ Э. Гумбеля.

В том случае, когда данных многолетних наблюдений о глубине промерзания грунтов нет, ее можно определить по картам изолиний средних многолетних максимальных глубин

промерзания грунта и картам изолиний коэффициента вариации C_v . Для составления карт были обработаны данные наблюдений за глубиной промерзания грунтов 101 метеостанции за период 16—20 лет. При наличии карт изолиний средней многолетней максимальной глубины промерзания и коэффициента вариации C_v расчет ведется в следующем порядке.

1. По карте изолиний определяется коэффициент вариации C_v .

2. По таблицам Э. Гумбеля или С. И. Рыбкина и в зависимости от C_v и заданной обеспеченности принимается модульный коэффициент k_s .

3. Средняя многолетняя максимальная глубина промерзания определяется по карте.

4. Затем по формуле (6) определяется глубина промерзания грунта под снежным покровом заданной обеспеченности.

В связи с тем что карты изолиний глубины промерзания грунта построены с учетом снежного покрова, для определения расчетной глубины промерзания необходимо ввести поправочные коэффициенты, которые учитывали бы тип и теплопроводность грунта, растительный покров и т. д. С учетом этих коэффициентов формула для определения глубины промерзания грунта (без снежного покрова) будет иметь вид:

$$H_{\text{пр}} = k_s k_{\text{II}} k_{\text{T}} H_{\text{ср}}, \quad (8)$$

где $H_{\text{ср}}$ — средняя максимальная многолетняя глубина промерзания грунта, определяемая по карте изолиний, см;

k_s — модульный коэффициент, определяемый по таблицам в зависимости от C_v и процента обеспеченности;

k_{T} — коэффициент, учитывающий тип грунта, растительный покров и т. д.;

k_{II} — коэффициент, учитывающий влияние снежного покрова.

Отсюда вывод: применив карты изолиний и формулу (8), можно для любого района строительства определить расчетную глубину промерзания грунта, в которой учитывается как вероятность повторения промерзания, так и другие характеристики грунта.

Влагонакопление в земляном полотне

Изменение влажности грунта — результат непрерывного перемещения влаги в нем. Оценка водного режима грунтов может быть дана на основе анализа его водного баланса

$$q_{гp} = q_з + (q_a + q_{п} + q_k) - (q_{ис} + q_{ст} + q_{пр}), \quad (9)$$

где $q_{гp}$ — количество воды, находящейся в грунте к концу рассматриваемого периода;

$q_з$ — запас влаги в грунте к началу рассматриваемого периода;

q_a — количество атмосферных осадков, выпавших за расчетный период;

$q_{п}$ — количество влаги, поступившей в рассматриваемый поверхностный слой грунта из нижележащих слоев (в том числе в результате действия отрицательных температур);

q_k — количество влаги, поглощенной из атмосферы в форме пара;

$q_{ис}$ — количество испарившейся влаги;

$q_{ст}$ — поверхностный сток за рассматриваемый период;

$q_{пр}$ — просачивание в глубинные слои.

В формуле (9) первое выражение в скобках представляет приток воды в грунт, второе — расход.

Испарение, сток и просачивание влаги в земляном полотне во многом зависят от водопроницаемости и теплопроводности дорожной одежды, формы земляного полотна, а также от климатических условий. Поэтому при анализе изменения влажности грунтов необходимо всю дорожную конструкцию рассматривать комплексно.

Удельный приток влаги в процессе замерзания грунта для I-го типа местности (сухие места), по исследованиям проф. Н. А. Пузакова [7, 8], может быть определен по формуле

$$\Omega = \frac{200 k_2 (\omega_0 - \omega_n)}{V_{\alpha_0} (\sqrt{V_{\alpha_0}} - \sqrt{V_{\alpha_1}})}, \quad \% \text{ от объема}, \quad (10)$$

где k_2 — средний коэффициент молекулярной влагопроводности, $см^2/сутки$;

ω_0 — молекулярная влагоемкость грунта;

ω_n — влажность грунта, равная утроенной гигроскопической влажности: $\omega_n = 3\omega_r$;

α_0 — параметр, определяющий зависимость глубины промерзания от продолжительности зимы;

a_1 — параметр, определяющий глубину проникания в грунт изотермы — 3°C, при которой практически прекращается перемещение пленочной воды в грунт.

Увеличение влажности верхних слоев грунта за счет миграции влаги из более глубоких слоев происходит в зоне между изотермами — 3°C и 0°C.

Для 2-го типа местности (сырые места с избыточным увлажнением в отдельные периоды года) удельный приток влаги во время промерзания грунта может быть определен по формуле

$$\Omega = 80 (\omega_{ос} - \omega_0) \sqrt{\frac{k_k}{\alpha_0}} \quad \% \text{ от объема,} \quad (11)$$

где $\omega_{ос}$ — осенняя влажность грунта земляного полотна;

k_k — коэффициент капиллярной влагопроводности грунта, $см^2/сутки$.

Для 3-го типа местности (мокрые места с постоянным избыточным увлажнением) удельный приток влаги равен

$$\Omega = 2 k_k \frac{(\omega_k - \omega_0) H_{пр}}{(H - H) \alpha_0} \quad \% \text{ от объема,} \quad (12)$$

где ω_k — капиллярная влагоемкость грунта;

H — глубина залегания грунтовых вод, $см$;

$H_{пр}$ — глубина промерзания земляного полотна, $см$.

Зная величину удельного притока влаги, можно решить вопрос о расчетном расстоянии между уровнем грунтовых вод и нижней границей промерзания грунтов.

Коррекция тепловых и водных процессов земляного полотна

Коррекция тепловых и водных процессов земляного полотна сводится к мероприятиям, обеспечивающим уменьшение миграции влаги в зону промерзания, уменьшение пучинообразования, а также увеличение устойчивости и прочности дороги. Одно из первых и обязательных мероприятий — отвод воды и недопущение как притока ее к полотну извне, так и увлажнения снизу. Последнее можно достичь устройством водонепроницаемых изолирующих прослоек, т. е. капиллярных прерывателей. Изолирующие прослойки могут быть устроены из дренирующих материалов, через которые капиллярная вода не поднимается (песок, гравий), или из водонепроницаемых материалов (толь, укрепленный битумом, грунт и т. п.). Толщина прослоек должна быть не менее 10—20 $см$. Чем выше коэффициент фильтрации, тем она меньше.

Роль изолирующего слоя может играть уплотненный связный грунт, так как он при оптимальной влажности, по данным проф. В. М. Безрука, практически не пропускает капиллярной воды и почти не водонасыщается. Таким образом, устройство уплотненных слоев существенно повышает устойчивость водного режима полотна. Однако при периодическом промерзании и оттаивании может произойти разуплотнение этой прослойки. Поэтому уплотненные слои следует расположить ниже глубины промерзания земляного полотна. Предотвратить подток воды при замерзании грунта можно, увеличив высоту насыпи. Если же по каким-либо причинам увеличить высоту насыпи невозможно, влагонакопление может быть уменьшено введением теплоизолирующих прослоек, которые уменьшают глубину промерзания. Для теплоизолирующих прослоек применяются торф, шлак и др. Толщину прослойки можно определить по формуле проф. Н. В. Орнатского

$$x = \frac{h_1 \left(1 - \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} \right) + \Delta h}{\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_2} - 1}}, \quad (13)$$

где Δh — требуемое поднятие границы промерзания;

h_1 — толщина дорожной одежды;

α — коэффициент температурной проводимости грунта полотна, заменяемого теплоизолирующими материалами;

α_1 — коэффициент температурной проводимости материала одежды;

α_2 — то же теплоизолирующего материала.

В тех случаях, когда влияние дорожного материала невелико ($\alpha \approx \alpha_1$), толщина теплоизолирующего слоя может быть рассчитана по формуле

$$x = \frac{\Delta h}{\sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_2} - 1}}. \quad (14)$$

Цель описанных выше мероприятий — не допустить влаги в рабочую зону полотна, предотвратить пучинообразование. Образование пучин обусловлено: 1) наличием пучинистого грунта, 2) перенасыщением грунта водой, 3) промерзанием грунта. Достаточно устранить хотя бы один из этих факторов, и пучинообразования не произойдет.

Расчетные схемы и формулы для определения минимальной высоты насыпи

Устойчивость и прочность земляного полотна во многом зависят от правильно выбранной высоты его. Многочисленные полевые наблюдения и исследования работы земляного полотна, а также исследование миграции влаги [7, 9] в промерзающих грунтах позволяют составить расчетную схему, необходимую для обоснования возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод.

Для решения вопроса о возвышении бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод можно выделить ряд характерных случаев (рис. 1).

Так как на решение вопроса о высоте насыпи земляного полотна уровень грунтовых вод и глубина промерзания грунта влияния не оказывают (рис. 1, а), ее необходимо назначать, исходя из других условий (минимального объема земляных работ, обеспечения поверхностного стока воды, предотвращения снеготранспорта и т. д.).

Минимальное возвышение бровки полотна (рис. 1, б) складывается из глубины промерзания грунта земляного полотна $h_{г. п}$ плюс минимальное расстояние между границей промерзания и уровнем грунтовых вод h_{Δ}

$$H_n = h_{г. п} + h_{\Delta}, \quad (15)$$

где $h_{г. п}$ — глубина промерзания грунта по формуле (8), см;

h_{Δ} — минимальный запас возвышения бровки полотна над уровнем грунтовых вод, см.

В основу расчета (h_{Δ}) положено регулирование притока влаги в процессе промерзания грунта земляного полотна [7, 8]. Минимальное значение его можно определить по формуле

$$h_{\Delta} = \frac{kSh_{г. п}}{Q_{зад} \alpha}, \quad (16)$$

где k — коэффициент фильтрации грунта, см/сутки;

s — всасывающая сила грунта, см;

α — климатический коэффициент, см²/сутки;

$Q_{зад}$ — удельный допустимый приток влаги.

Значение всасывающей силы S и коэффициента фильтрации k для разных грунтов приведено в табл. 6 [8].

Наименование грунта	Коэффициент фильтрации k , см/сутки	Всасывающая сила S , см
Пески мелкие	от 80 до 8	от 4 до 6
Супеси	8—0,1	6—70
Пылеватые грунты	1—0,08	15—90
Суглинки пылеватые	0,1—0,001	70—3400
Глинистые грунты	0,001 и менее	3400 и более

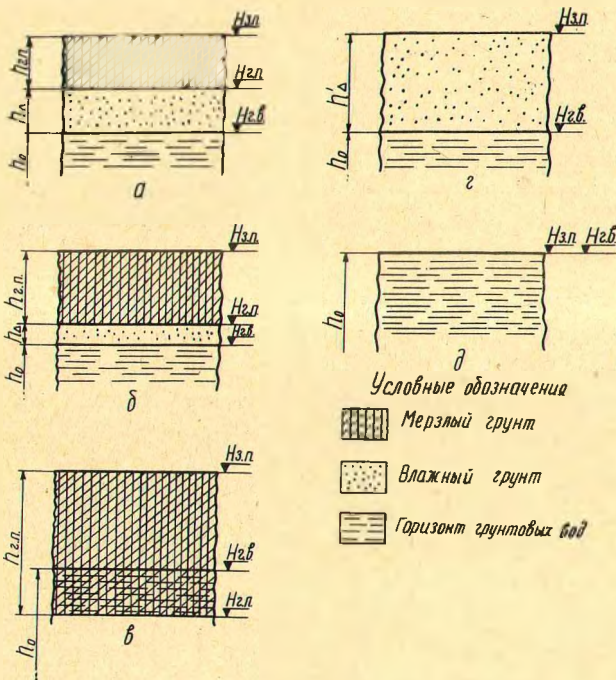


Рис. 1. Расчетные схемы для определения минимальной высоты насыпи:

a — уровень грунтовых вод расположен на большой глубине, т. е. приток влаги не влияет на глубину промерзания земляного полотна; *б* — уровень грунтовых вод расположен на такой глубине, что приток влаги существенно влияет на глубину промерзания; *в* — глубина промерзания грунта больше глубины залегания грунтовых вод; *г* — грунт не промерзает; *д* — земляное полотно расположено на болоте, а уровень грунтовых вод совпадает с поверхностью земли.

Значение климатического коэффициента α определяется по известной формуле проф. Н. А. Пузакова

$$\alpha = \frac{h_{гп}^2}{2T}, \quad (17)$$

где T — продолжительность зимы для данного района, сутки.

Удельный допустимый приток влаги может быть определен по формулам (10), (11), (12) или по упрощенной формуле вида

$$\Omega_{\text{зад}} = 1 - \frac{\delta}{\lambda} - \frac{\delta \omega}{100}, \quad (18)$$

где δ, λ — объемный и удельный вес грунта, $г/см^3$;
 ω — весовая капиллярная влажность грунта до замерзания, %.

Для основных типов грунтов удельный приток влаги приведен в табл. 7.

Таблица 7

Наименование грунта	Допустимый приток влаги
Супеси мелкие	0,22—0,26
Супеси	0,12—0,20
Пылеватые грунты	0,14—0,20
Суглинки тяжелые	0,09—0,13
Глинистые грунты	0,07—0,11

Произведя подстановку и преобразования, получим окончательное выражение для определения возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод для данной расчетной схемы

$$H_{\text{н}} = h_{\text{г. п}} + \frac{2kST}{h_{\text{г. п}} \Omega_{\text{зад}}}. \quad (19)$$

Минимальное возвышение бровки земляного полотна для третьего случая (рис. 1, в) можно определить из выражения

$$H_{\text{н}} = 2h_{\text{г. п}} + h_{\Delta} - H_{\text{г. в}}, \quad (20)$$

где $H_{\text{г. в}}$ — глубина залегания уровня грунтовых вод, *см*.

Подставляя значение h_{Δ} из формулы (16) и учтя формулу (17), получим окончательное выражение для определения минимальной высоты насыпи над уровнем грунтовых вод

$$H_{\text{н}} = 2h_{\text{г. п}} - H_{\text{г. в}} + \frac{2kST}{h_{\text{г. п}} \Omega_{\text{зад}}}. \quad (21)$$

По четвертой расчетной схеме (рис. 1, г) минимальная высота насыпи земляного полотна над уровнем грунтовых вод определяется исходя из следующих предпосылок. При

возведении земляного полотна на местности с высоким уровнем грунтовых вод возникает градиент влажности, который изменяется с изменением уровня грунтовых вод. Наличие градиента влажности обуславливает поток снизу вверх жидко-и парообразной влаги, т. е. миграция влаги происходит в результате влагопроводности. Принимая эти предпосылки и преобразовывая некоторые данные в формуле для определения возвышения бровки полотна над уровнем грунтовых вод, предложенной проф. В. М. Сиденко и С. А. Гридневым [10], получим

$$H_n = \frac{3 a'_{ж}}{k} \left\{ \sqrt{(W_p - 0,5 W_T)^2 + \frac{0,67 k}{a_{ж}} \left[0,4 W_T + k T_p + \frac{k}{a_{ж}} \right]} - (W_p - 0,5 W_T) \right\}. \quad (22)$$

где W_p — расчетная влажность земляного полотна (0,55—0,70);

W_T — предел текучести;

T_p — длительность периода влагонакопления, час;

$a'_{ж}$ — коэффициент миграции двухфазной влаги, изменяющийся в пределах от $2,9 \cdot 10^{-5}$ до $8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{час}$;

k — коэффициент фильтрации, $\text{м}/\text{час}$.

Высота насыпи на болотах (рис. 1, д) должна решаться на основе данных геологических обследований с учетом типа болота, его глубины, рельефа, минерального дна, водного режима торфяной залежи, типа дороги и наличия местных грунтов.

П. А. Дрозд для определения высоты насыпи на болотах рекомендует формулу

$$H_n = \frac{pT}{E}, \quad (23)$$

где p — удельное давление, $\text{кгс}/\text{см}^2$;

T — осадка насыпи, см ;

E — модуль упругости, $\text{кгс}/\text{см}^2$.

Таким образом, для определения минимальной высоты земляного полотна необходимо правильно выбрать расчетную схему и использовать при этом соответствующие расчетные формулы.

ВЫВОДЫ

1. Определение минимальной высоты земляного полотна связано с характером водных и тепловых процессов, происходящих в нем. Необходимо учитывать глубину промерзания грунта, его физико-механические свойства, миграцию влаги, наличие защитного и теплоизоляционных конструктивных слоев, условия сооружения земляного полотна.

2. Определять глубину промерзания грунтов заданной обеспеченности рекомендуется статистическим методом, если есть данные метеорологических наблюдений, а если их нет, то используются карты изолиний.

3. Искусственным регулированием водно-теплого процесса можно влиять на прочность земляного полотна и на его параметры.

4. Минимальная высота земляного полотна лесовозных автодорог вычисляется в соответствии с предложенными расчетными схемами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Будников А. Н. Формула для определения глубины промерзания для водопроводных труб. — Журнал «Водоснабжение и санитарная техника», 1938, № 7.

2. Гумбель Э. Статика экстремальных значений. М., «Мир», 1965.

3. Колосков П. И. Изучение роли сезонной мерзлоты в формировании почв. — Журнал «Мерзлотоведение», 1946, № 1.

4. Лапкии Г. И. Определение глубины промерзания грунтов для целей фундаментаостроения. М., Госстройиздат, 1955.

5. Лебедев В. В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Л., Гидрометеиздат, 1955.

6. Лукьянов В. С. Методика расчета глубины промерзания грунтов, М., Трансжелдориздат, 1951.

7. Пузаков Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1960.

8. Регулирование водного режима дорожных оснований, вып. VI. М., Дориздат, 1946.

9. Рюкли Р. Морозоопасность дорожных оснований. — В кн.: «Влияние промерзания на устойчивость дорожных оснований». М., Дориздат, 1948.

10. Сиденко В. М., Гриднев С. А. Возвышение бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод в южных районах. — Журнал «Автомобильные дороги», 1967, № 4.

11. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики. М., «Наука», 1965.

12. Соколовский Д. Л. Речной сток. Л., Гидрометеиздат, 1950.

13. Стоценко Н. В. Сезонное промерзание грунтов Дальнего Востока. Владивосток, 1952.

14. Технические указания по проектированию автомобильных дорог лесозаготовительных предприятий. М., Гипролестранс, 1964.

15. Тулаев А. Я. Регулирование водных режимов земляного полотна на автомобильных дорогах. — В кн.: «Проектирование и возведение земляного полотна железных и автомобильных дорог». М., изд-во АН СССР, 1950.

16. Утенков В. Ф. Промерзание грунтов. — Бюллетень «Строительная техника», 1945, № 16.

Научный редактор канд. техн. наук Ю. Н. ПОТАПОВ.

