

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков В. Ф. и др. Дорожные условия и режимы движения автомобилей. М., «Транспорт», 1967.
2. Бируля А. К., Говорущенко Н. Я., Ермакович Д. В. Эксплуатационные качества автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1961.
3. Брайльчук П. Л., Ермилов Ф. И. Автоматическая запись продольного профиля и плана дороги. — «Автомобильные дороги», 1967, № 1.
4. Носков Л. Д., Шейнин И. С. Комплект измерительной аппаратуры для натурных исследований. Материалы к симпозиуму «Экспериментальные исследования инженерных сооружений», вып. II, Ленинград. Изд. Ленинградского областного Совета научно-технических обществ. Комитет по измерительной технике, 1964.

*Леонович И. И., канд. техн. наук, Вырко Н. П., инж.*

### **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПУЧИНООБРАЗОВАНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ БЕЛОРУССИИ**

В земляном полотне автомобильных дорог протекают сложные водно-тепловые процессы, в результате чего в различных точках грунтового массива меняется количество влаги, состояние воды, а вместе с тем меняется прочность и несущая способность дороги. Одним из наиболее ощутимых проявлений водно-тепловых процессов можно считать пучины. Пучины — следствие промерзания грунта и миграции влаги из нижних слоев в зону активного охлаждения. На интенсивность пучинообразования влияет быстрота охлаждения активного слоя и быстрота подачи влаги.

При небольших морозах грунты промерзают медленно, имеется достаточно времени для подтока воды, поэтому образование ледяных линз идет интенсивно. При сильных морозах, наоборот, происходит быстрое промерзание грунта, вода не успевает перераспределиться, поэтому ледяные линзы не образуются.

Большое влияние на миграцию влаги в зону отрицательных температур оказывает тип грунта и степень его уплотнения. Песчаные грунты обладают малой поверхностной энергией. Они промерзают без образования ледяных линз. Пылеватые грунты обладают значительной поверхностной энергией и небольшим сопротивлением подъему воды в порах. Вследствие этого в пылеватых грунтах происходит интенсивное вертикальное перемещение воды, а при замерзании — образование ледяных линз. Глинистые грунты обладают огромной поверхностной энергией и большим сопротивлением перемещению воды в порах. Однако скорость перемещения воды в глинистых грунтах небольшая. При отрицательных температурах они не успевают промерзнуть скорее, чем вода поднимается в активную зону. Важное значе-

ние в процессе пучинообразования играют также гидрологические условия. Проф. Н. А. Пузаков в зависимости от мощности и характера источника увлажнения выделяет три расчетные схемы [2]. Первая расчетная схема соответствует сухой местности с обеспеченным стоком поверхностных вод; вторая — районам с достаточным количеством осадков или местам, где затруднен сток поверхностных вод; третья охватывает места, где имеется постоянный источник увлажнения — близок уровень грунтовых вод, длительно стоит вода в канавах или резервах и др. Для каждой расчетной схемы проф. Н. А. Пузаковым предложены формулы, необходимые при контроле водно-теплого режима земляного полотна:

$$\text{первая схема } H_1 = 3,08 k_2 \frac{\omega_0 - \omega_1}{\sqrt{\alpha_0}} \sqrt{T}; \quad (1)$$

$$\text{вторая схема } H_2 = 1,26 (\omega_{oc} - \omega_0) \sqrt{k_k T}; \quad (2)$$

$$\text{третья схема } H_3 = \frac{2,2 k_k}{\alpha_0} (\omega_k - \omega_0) \left( h 2,31 g \frac{h}{h-z} - z \right), \quad (3)$$

где

$\omega_0$  — максимальная молекулярная влажность грунта, доли единицы;

$\omega_1$  — влага в грунте, неспособная к передвижению, доли единицы;

$\omega_k$  — капиллярная влагоемкость грунта, доли единицы;

$\omega_{oc}$  — начальная осенняя влажность грунта, доли единицы;

$k_2$  — средний коэффициент влагопроводимости,  $см^2/сутки$ ;

$k_k$  — коэффициент капиллярной влагопроводимости,  $см^2/сутки$ ;

$\alpha_0 = \frac{z^2}{2T}$  — параметр, зависящий от физических свойств грунта и климатических особенностей района,  $см^2/сутки$ ;

$h$  — глубина залегания грунтовых вод от поверхности дороги,  $см$ ;

$T$  — продолжительность промерзания грунта,  $сутки$ ;

$z$  — наибольшая глубина промерзания,  $см$ .

Как видно из формул, величина пучения грунта зависит также от климатических условий. Исходя из климатических условий территорию Белорусской ССР [3] целесообразно разделить на четыре зоны (рис. 1) — северо-восточную, центральную, северо-западную и юго-западную.

Северо-восточная зона относится к району с продолжительной зимой около 120 дней. Устойчивый снежный покров образуется каждую зиму и залегаеет в среднем также около 100—120 дней. Оттепелей бывает сравнительно мало. Промерзание грунта начинается в конце октября — начале ноября, а оттаивание в конце марта — начале апреля. Средняя многолетняя отрицательная температура воздуха колеблется от  $-7$  до  $-8^\circ C$ . Осадков выпадает около 600 мм.

Центральная зона — продолжительность зимы около 100 дней. Устойчивый снежный покров лежит продолжительное время — от 80 до 100 дней. Промерзание грунта начинается в начале ноября, а оттаивание в начале апреля. Средняя многолетняя отри-

цательная температура воздуха равна  $-6 \div 7^{\circ}\text{C}$ . Осадков выпадает около 650 мм.

Северо-западная зона относится к району с продолжительностью зимы около 80 дней, со значительным числом оттепелей и большим количеством осадков (около 700 мм). Средняя отрицательная температура воздуха находится в пределах  $-5 \div 6^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 1. Схематическая карта районирования Белорусской ССР

Юго-западная зона характеризуется большим числом оттепелей, 1 раз в десять лет снежный покров почти не устанавливается, продолжительность зимы — около 60 дней. Средняя отрицательная температура воздуха — около  $-4,5^{\circ}\text{C}$ . Осадков выпадает примерно 500 мм.

На основе формул (1) — (3) и данных табл. 1 [2] для каждой из климатических зон БССР нами были вычислены величины пучения. Результаты вычислений приведены в табл. 2. Из табл. 2 видно, что пучинообразование наиболее ярко выражено на дорогах, расположенных в районах, отнесенных к третьей схеме

Тип грунта	$\omega_0, \%$	$\omega_1, \%$	$\omega_{к'}, \%$	$\omega_{ос'}, \%$	$k_s, \text{см}^2/\text{сутки}$	$k_{к'}, \text{см}^2/\text{сутки}$
Глинистый . . . . .	33	21	47	50	1,2	17
Суглинистый . . . . .	25	12	34	40	1,1	10
Супесчаный . . . . .	20	9	39	30	1,7	7
Мелкий песок . . . . .	14	4	20	22	1,6	6,6

по увлажнению. Эти участки и должны быть положены в основу расчета пучинистости автомобильных дорог.

Анализируя формулу (3), нетрудно заметить, что величина пучения зависит главным образом от уровня грунтовых вод и глубины промерзания грунта. Уровень грунтовых вод для данных условий местности можно считать величиной постоянной. Глубина же промерзания грунта колеблется в значительных пределах и зависит от климатических условий, т. е. является величиной варьирующей.

Для определения глубины промерзания можно применить статистический метод [1]: определить вероятность появления глубины промерзания заданной обеспеченности и на основании этого решить вопрос о вероятности появления пучин заданной величины.

Для определения глубины промерзания грунтов нами составлена карта средних многолетних глубин промерзания грунтов на территории БССР (рис. 2) и карта коэффициента вариации (рис. 3). По первой карте для заданного района находим среднюю многолетнюю глубину промерзания грунта  $z_{cp}$ , а по второй — коэффициент вариации  $C_V$ . По  $C_V$  и заданному проценту обеспеченности (вероятности) находим модульный коэффициент  $K_S$  (табл. 3).

Глубину промерзания грунта заданной обеспеченности определяют из выражения:

$$z = K_S z_{cp}; \quad (4)$$

глубину промерзания грунта земляного полотна вычисляют по формуле:

$$z_0 = k_n K_S z_{cp}, \quad (5)$$

где  $k_n$  — переходный коэффициент от грунтов открытого поля к грунтам земляного полотна, учитывающий теплофизические свойства грунта, снежный покров и т. д.

Прогнозирование вероятности появления пучин может производиться в следующем порядке:

- 1) принимаем величину пучения для заданного участка дороги (допускаемую, контрольную или любую другую искомую);
- 2) путем подбора вычисляем по формуле (3) значение глу-

Тип грунта		Величина пучения грунта при расчетной схеме, см												
		Третья при уровне залегания грунтовых вод, см												
		первая	вторая	80	100	120	140	160	180	200	220	240	280	300
Северо-восточная зона: $T = 120$ суток, $z = 127$ см, $a_0 = 67$ см <sup>2</sup> /суток														
Глинистый	.	0,60	9,7	—	—	—	16,1	9,9	7,3	5,9	5,5	4,1	3,1	2,9
Суглинистый	.	0,60	6,5	—	—	—	9,2	3,8	2,8	2,2	2,1	1,6	1,2	1,1
Супесчаный	.	0,78	3,7	—	—	—	6,0	5,6	4,1	3,3	3,1	2,3	1,8	1,6
Мелкий песок	.	0,66	2,8	—	—	—	2,7	1,6	1,2	0,97	0,92	0,69	0,52	0,48
Центральная зона: $T = 100$ суток, $z = 107$ см, $a_0 = 56$ см <sup>2</sup> /суток														
Глинистый	.	0,59	8,9	—	—	15,0	9,0	6,8	5,2	4,3	3,8	3,3	2,6	2,3
Суглинистый	.	0,59	6,0	—	—	5,7	3,4	2,6	1,9	1,6	1,4	1,2	0,99	0,88
Супесчаный	.	0,77	3,3	—	—	8,4	5,0	3,8	2,9	2,4	2,1	1,8	1,5	1,3
Мелкий песок	.	0,66	2,6	—	—	2,5	1,5	1,1	0,85	0,71	0,62	0,55	0,44	0,39
Северо-западная зона: $T = 80$ суток, $z = 82$ см, $a_0 = 42$ см <sup>2</sup> /суток														
Глинистый	.	0,61	7,9	—	11,1	7,0	5,0	4,0	3,4	3,0	2,5	2,2	1,9	1,9
Суглинистый	.	0,61	5,4	—	4,2	2,6	1,9	1,5	1,3	1,1	0,95	0,85	0,71	0,7
Супесчаный	.	0,79	3,0	—	6,2	3,9	2,9	2,2	1,9	1,7	1,4	1,25	1,1	1,1
Мелкий песок	.	0,68	2,3	—	1,8	1,2	0,85	0,66	0,56	0,5	0,41	0,37	0,31	0,30
Юго-западная зона: $T = 60$ суток, $z = 68$ см, $a_0 = 39$ см <sup>2</sup> /суток														
Глинистый	.	0,55	6,9	12,0	6,2	5,0	3,2	2,7	2,3	2,0	1,8	1,7	1,3	1,2
Суглинистый	.	0,55	4,6	4,5	2,3	1,9	1,2	1,0	0,86	0,74	0,66	0,64	0,48	0,43
Супесчаный	.	0,72	2,6	6,7	3,5	2,8	1,8	1,5	1,3	1,1	0,97	0,94	0,71	0,64
Мелкий песок	.	0,61	2,0	2,0	1,0	0,83	0,54	0,45	0,38	0,32	0,29	0,28	0,22	0,19

бины промерзания, при которой эта величина пучения может быть;

3) учитывая величину  $z_0$  и принимая по карте (рис. 2)  $z_{ср}$ , определяем модульный коэффициент:

$$K_S = \frac{z_0}{k_n z_{ср}}; \quad (6)$$

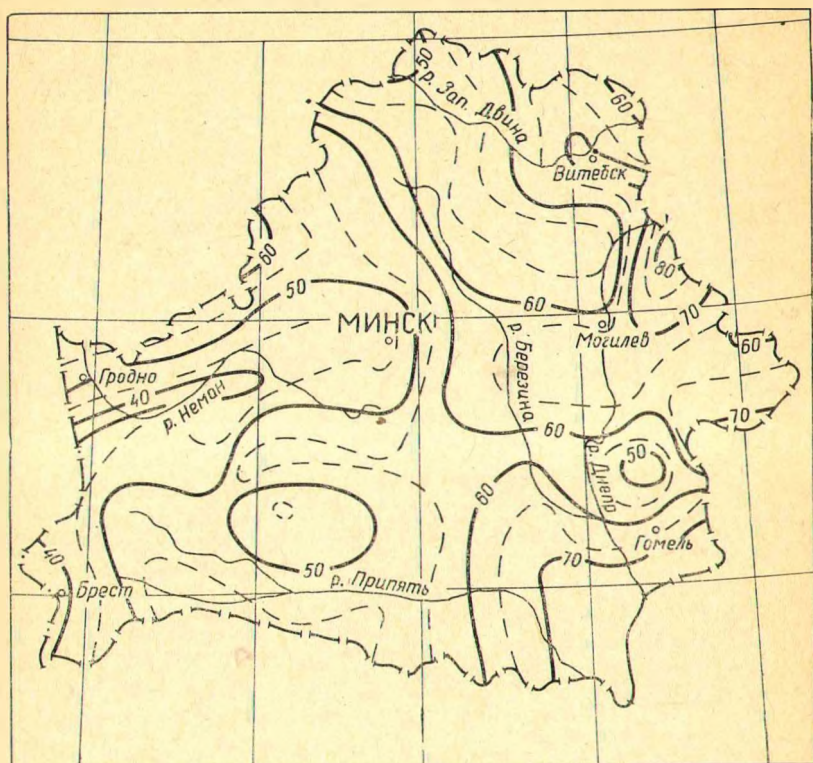


Рис. 2. Карта изолиний средних максимальных глубин промерзания

4) принимая для рассматриваемого района значение  $C_V$  (см. рис. 3) и  $k_n$ , а также учитывая значение  $K_S$  (по табл. 3), находим вероятность появления пучины заданной величины.

Для примера определим вероятность появления пучин величиной 5 см на дороге Минск — Брест в районе г. Столбцы. Известно, что грунт земляного полотна — супесчаный, глубина залегания грунтовых вод — 1,0 м, по степени увлажнения участок местности относится к третьей расчетной схеме.

Для заданного района имеем: продолжительность зимы  $T = 80$  суток, среднюю глубину промерзания  $z_{ср} = 45$  см, коэффициент вариации  $C_V = 0,45$ , коэффициент перехода  $k_n = 1$ . Влажностные свойства грунтов необходимо определять лабораторным способом. В данном примере примем средние значения (см. табл. 1):  $\omega_0 = 20\%$ ,  $\omega_k = 30\%$ ,  $k_k = 7$  см<sup>2</sup>/суток.

Коэффициент вариации $C_V$	Вероятность					
	1:100	1:33	1:20	1:10	1:5	1:4
	Коэффициент $K_S$					
0,25	1,674	1,522	1,445	1,332	1,202	1,154
0,30	1,825	1,636	1,540	1,399	1,240	1,183
0,35	1,990	1,754	1,638	1,468	1,276	1,208
0,40	2,156	1,872	1,736	1,536	1,312	1,232
0,45	2,334	1,999	1,837	1,603	1,345	1,254
0,50	2,511	2,126	1,938	1,670	1,378	1,277
0,55	2,700	2,256	2,042	1,737	1,408	1,294
0,60	2,890	2,386	2,146	1,804	1,438	1,312
0,65	3,090	2,522	2,252	1,871	1,468	1,328
0,70	3,289	2,659	2,358	1,938	1,497	1,343

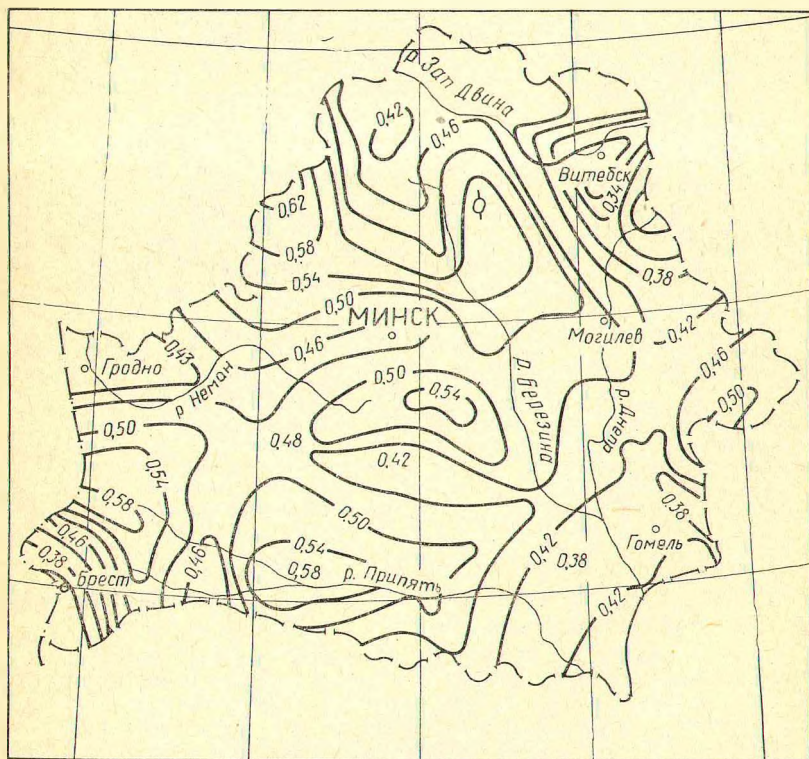


Рис. 3. Карта изолиний коэффициента вариации

По графику (рис. 4), построенному на основании формулы (3), определим значение глубины промерзания грунта, которая вызывает пучение величиной 5 см:  $z_0 = 83$  см. По формуле (6) определяем модульный коэффициент:

$$K_S = \frac{83}{45} = 1,840.$$

Имея модульный коэффициент  $K_S = 1,840$  и учитывая, что для рассматриваемого района коэффициент вариации  $C_V = 0,45$ , по табл. 3 находим, что вероятность появления пучения, равного 5 см, составляет 1:20, т. е. 1 раз в 20 лет.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. При определении пучинообразования третья расчетная схема является решающей, поэтому участки дорог, имеющие признаки, характеризующие третью расчетной схемой, должны быть в центре внимания эксплуатационников.

2. Глубина промерзания грунтов является величиной варьирующей, и для ее определения необходимо использовать статистический метод и карты изолиний.

3. Предложенная методика прогнозирования пучинообразования позволяет определить величину пучения различной вероятности для любого заданного района БССР.

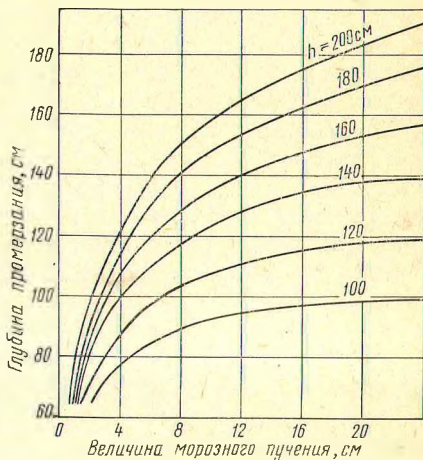


Рис. 4. График определения глубины промерзания по заданной величине морозного пучения

(Продолжительность зимы — 80 суток, грунт супесчаный). Цифры на кривых — расстояния до уровня грунтовых вод, см

## ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович И. И., Върко Н. П. Определение глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности применительно к задачам проектирования дорог. Сб. работ БТИ «Вопросы механизации лесоразработок и транспорта леса». М., «Высшая школа», 1967.
2. Пузакон Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М., Автотрансиздат, 1960.
3. Агроклиматический справочник по Белорусской ССР. М., Гидрометеоиздат, 1958.