

625.731

B-92

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ БССР

Белорусский технологический институт
имени С. М. Кирова

На правах рукописи

Н. П. ВЫРКО

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНО-ТЕПЛОВОГО
РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
И УЧЕТ ЕГО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ
ДОРОГ БЕЛОРУССИИ**

(Специальность 05.420 машины, механизмы
и технология лесоразработок, лесозаготовок
и лесного хозяйства)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

МИНСК, 1970 год

625.731

B-92

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Б С С Р

Белорусский технологический институт им. С. М. Кирова

На правах рукописи



Н. П. ВЬРКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДНО - ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА
И УЧЁТ ЕГО ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ
ДРОГ БЕЛОРУССИИ

(Специальность 05.420 Машины, механизмы и техноло-
гия лесоразработок, лесозаготовок и лесного
хозяйства)

Автореферат

диссертации на соискание учёной
степени кандидата технических
наук



Минск 1970 год

2278 ар.

Работа выполнена в Белорусском технологическом
институте им.С.М.Кирова

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент И.И.Леонович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор С.Х.БУДЫКА
кандидат технических наук И.Е.ЕВГЕНЬЕВ

Ведущее предприятие – Витебский леспромхоз, г.Витебск

Автореферат разослан "*11*" *апреля* 1970 г.

Защита диссертации состоится "*13*" *мая* 1970 г.,
на заседании Ученого Совета Белорусского технологичес-
кого института им.С.М.Кирова (г.Минск, ул.Свердлова, 13а,
ауд.220).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
института

Ваши отзывы на автореферат просим направлять в двух
экземплярах с заверенными подписями в адрес Ученого
Совета.

Ученый секретарь Совета, кандидат технических наук,
доцент И.М.Плехов

И.М.Плехов

В В Е Д Е Н И Е

В лесной промышленности СССР за последние годы наиболее интенсивно развивается автомобильный транспорт леса, растет протяженность и грузооборот эксплуатируемых автомобильных дорог. Уже в настоящее время около 70% заготавливаемой древесины перевозится автомобилями, а протяженность действующих автомобильных лесовозных дорог составляет более 80 тыс.км.

В лесной промышленности БССР, как и в целом в лесной промышленности Советского Союза, ведущее положение на вывозке занимает автомобильный транспорт леса. Протяженность автомобильных дорог, по которым производится вывозка древесины, в Белоруссии составляет около 12 тыс.км, в том числе с асфальтобетонным покрытием 2,4 тыс. км, или 20% общей протяженности (дороги областного, республиканского и союзного значения); гравийные и грунтовые дороги - 9,6 тыс.км, или 80%, из них 5,3 тыс.км дороги магистрального типа и 4,3 тыс.км - ветки. По этим дорогам к концу пятилетки вывозка леса достигнет 3 млн.м³, или 80% от общего объема заготавливаемой древесины, в то время, как в 1960 году перевезено всего лишь 69,2%. Увеличение объема вывозки требует значительного расширения транспортной сети лесовозных дорог различного типа. В связи с этим в Белоруссии расширяется строительство автомобильных лесовозных дорог не только из местных грунтов с различными добавками, но и дорог с бетонным и асфальтобетонным покрытиями.

Строительство новых автомобильных лесовозных дорог связано с решением ряда проблем, среди которых особое значение имеет проблема проектирования и строительства устойчивых дорожных конструкций применительно к различным природным условиям.

В результате многочисленных исследований, проведенных проф. А.К.Бируля, Н.А.Пузаковым, В.М.Сиденко и другими, установлено, что прочность (модуль деформации E) грунта есть функция: влажности W , плотности δ и характера сложения грунта C , т.е.

$$E = f(W, \delta, C). \quad (I)^*$$

Следовательно, прочность грунта в первую очередь определяется изменением влажности и плотности грунта. Поэтому при назначении расчетного значения модуля деформации необходимо знать расчетную влажность грунта, которую можно установить только в результате исследования водно-теплового режима. Исследования водно-теплового режима грунтов земляного полотна проводятся в СоюзДорНИИ и его филиалах, Гипролестрансе, ЦНИИМЭ, СибТИ, ХАДИ, МАДИ, Архангельском ЛТИ и др. Результаты этих исследований изложены в работах А.К.Бируля, Н.А.Пузакова, В.М.Сиденко, Н.В.Орнатского, Л.А.Преферансовой, А.Я.Тулаева, Р.З.Парицкого, Е.И.Шелопаева, В.В.Щякунова и др. Анализ этих работ показывает, что водно-тепловой режим земляного полотна для различных природных условий не одинаков и в ряде случаев существенно отличается друг от друга. На основании исследования особенностей водно-теплового режима земляного полотна в настоящее время получены расчетные данные для центральной части СССР, Украинской ССР, Литовской ССР, Узбекской ССР, Западной Сибири. Что касается Белорусской ССР, то таких данных здесь не имеется. Отсутствие же необходимых данных по водно-тепловому режиму земляного полотна не дает возможности решать многие вопросы, связанные с проектированием, строительством и эксплуатацией дорог. Поэтому актуальной является проблема исследования

* Номера формул соответствуют номерам формул в диссертации

водно-теплового режима земляного полотна для условий Белоруссии. Отсюда задачей наших исследований являлось ~~и целью~~ установление расчетных характеристик необходимых при проектировании и строительстве автомобильных дорог. В связи с

этим в диссертационной работе рассмотрены следующие вопросы: исследовано колебание влажности и температуры грунтов земляного полотна по глубине, с целью установления расчетной влажности; разработана методика определения глубины промерзания грунтов; исследовано передвижение влаги в поперечном направлении (от боковой канавы к оси дороги); разработана методика прогнозирования пучинообразования; даны рекомендации по определению минимальной высоты насыпи.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, включающих 52 таблицы, 60 рисунков, и выводов. Общий объем работы 187 страниц машинописного текста. Таблицы расчетов глубины промерзания, обработки экспериментальных исследований и другие как научный отчет представлены и находятся в библиотеке Белорусского технологического института им. С. М. Кирова.

Расчетная влажность грунтов для условий Белоруссии

При проектировании земляного полотна и дорожных одежд необходимо знать расчетную влажность для решения многих инженерных задач (определение расчетного модуля деформации грунта; расчет пучинообразования; расчет и проектирование технологических мероприятий, регулирующих водно-тепловой режим и др.). Расчетная влажность грунтов представляет собой наиболее неблагоприятное ее значение, соответствующее принятой обеспеченности. Определение ее для условий Белоруссии было произведено статистическим методом. Но прежде, чем приступить к определению расчетной влажности нами

была доказана однородность весенней и осенней влажности, а также сделан выбор кривой обеспеченности для анализа влажности грунтов. Эти вопросы ранее не рассматривались.

Объединение в один статистический ряд весенней и осенней максимальной влажности грунтов вызвано с одной стороны тем, что эти периоды являются наиболее опасными в работе дорожной конструкции, а с другой - с целью получения более надежных параметров кривой обеспеченности. Однако, объединение этих влажностей не вполне корректно, так как весенние и осенние максимумы генетически различны. В первом случае они обуславливаются оттаиванием грунта и таянием снега, а во втором - обложными дождями. Поэтому необходимо доказать их статистическую однородность. Установление их однородности проводилось с использованием непараметрического критерия Колмогорова-Смирнова

$$\Delta P_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{2} \ln \frac{2}{\beta} \left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y} \right)}, \quad (II)$$

где ΔP_{β} - максимальная разность вероятности непревышения, характеризующая различие между двумя эмпирическими выборками; β - уровень значимости (0,01-0,05); n_x, n_y - объемы соответствующих сопоставляемых совокупностей. Если

$\Delta P_{\beta} > \Delta P_{0,01}$ - однородность рассматриваемой совокупности отвергается;

$\Delta P_{0,05} < \Delta P_{\beta} < \Delta P_{0,01}$ - однородность сомнительна;

$\Delta P_{\beta} < \Delta P_{0,05}$ - рассматриваемая совокупность однородна, где

ΔP_{β} - максимальная эмпирическая разность.

Расчеты по определению максимальной разности (вероятности непревышения) сведены в табл. I.

Таблица I

№ п/п	Название агро- метеостанций	Число лет наблюдений за влаж- ностью грунта		Максимальная теоретичес- кая разность (вероятнос- ти не превыше- ния) ΔP_{β} при уровне значи- мости		Макси- мальная эмпири- ческая раз- ность ΔP_{β}	Рассмат- риваемая совокуп- ность од- нородна (да, нет)
		осень	весна				
		n_x	n_y	$\beta=0,01$	$\beta=0,05$		
1.	Вилейка	16	18	1,26	0,885	0,694	да
2.	Витебск	20	21	1,22	0,825	0,373	да
3.	Гродно	18	18	1,25	0,745	0,446	да
4.	Минск	12	12	1,33	0,980	0,455	да
5.	Слуцк	13	12	1,31	0,960	0,374	да
6.	Чечерск	14	13	1,30	0,945	0,272	да
7.	Шарковщина	12	18	1,29	0,925	0,238	да

Из табл. I видно, что для всех станций $\Delta P_{\beta} < \Delta P_{0,05}$, следовательно, весенние и осенние влажности грунтов однородны и они могут быть объединены в один статистический ряд.

В практике гидрологических расчетов наибольшее распространение получили следующие кривые распределения: кривая Пирсона - III-его типа, двойного экспоненциального и трехпараметрического Γ -распределения. Для выбора кривой распределения был использован тот же критерий Колмогорова-Смирнова (II), с той только разницей, что $n_y = \infty$, так как теоретическая кривая распределения соответствует статистическому ряду с числом членов, стремящихся к бесконечности. Достоверность выбора кривой обеспеченности проверена на семи агрометеостанциях, расположенных в характерных районах Белоруссии, табл. 2.

Таблица 2

№ п/п	Название агрометеостанции	Число лет наблюдений n_x	Максимальная теоретическая разность (вероятность не-превышения), при уровне значимости		Максимальная эмпирическая разность ΔP_2 (вероятность не-превышения) при следующих типах распределения		Наиболее близко подходит кривая распределения
			$\beta=0,01$	$\beta=0,05$	Пирсона Ш-го типа	Двойное экспоненциал. распр.	
1.	Вилейка	34	0,940	0,288	0,103	0,111	Пирсона Ш-го типа " " " " " " " " " "
2.	Витебск	30	0,975	0,383	0,168	0,213	
3.	Гродно	18	1,100	0,630	0,110	0,120	
4.	Минск	29	0,980	0,400	0,112	0,122	
5.	Слуцк	26	1,010	0,460	0,178	0,204	
6.	Чечерск	14	1,150	0,730	0,163	0,217	
7.	Шарковщина	18	1,100	0,630	0,116	0,135	

Из данных табл.2 видно, что для расчета влажности грунтов может быть использована, как кривая Пирсона Ш-го типа, так и двойного экспоненциального распределения. Однако, наиболее близкое значение получается для кривой Пирсона Ш-го типа, которую мы рекомендуем принимать при анализе влажности грунтов. Используя эту кривую (Пирсона Ш-го типа), нами определена расчетная влажность грунта открытого поля, а для установления расчетной влажности грунтов земляного полотна определен переходный коэффициент от влажности грунтов открытого поля к влажности грунтов земляного полотна. Среднее значение переходного коэффициента для условий Белоруссии равно 0,83.

Глубина промерзания грунта

Из анализа существующих способов определения глубины промерзания грунта следует, что до сих пор нет единого способа расчета

глубины промерзания, который бы учитывал все факторы, влияющие на ее величину. Это объясняется сложностью и многогранностью самого процесса, а следовательно, и трудностью его правильного и точного количественного описания.

Глубина промерзания грунтов зависит от многих факторов, которые можно разделить на две группы: к первой группе относятся факторы зонального характера (высота над уровнем моря, рельеф местности, тип грунта и др.), величина которых почти не изменяется во времени. Во вторую группу входят факторы сильно изменяющиеся во времени. Наиболее существенными из них являются: сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность и интенсивность действия отрицательной температуры, высота снежного покрова, расположение уровня грунтовых вод, влажность грунта, интенсивность ветра, приток тепла из нижних талых слоев и другие. Естественно, учесть все эти факторы какой-либо одной формулой в настоящее время не представляется возможным. В связи с этим мы считаем, что глубину промерзания грунтов можно рассматривать как случайную величину и применять для ее анализа вероятностные методы.

Нами проверялась возможность применения нормального закона распределения к анализу глубины промерзания грунтов. Эта проверка производилась по следующему критерию - изучаемое явление подчиняется закону нормального распределения, если отношение коэффициентов асимметрии и эксцесса к их ошибкам меньше трех. Как показали расчеты это отношение во всех случаях меньше трех, следовательно, глубина промерзания подчиняется закону нормального распределения. Однако он применяется для знакопеременных величин, а у нас имеется существенно положительная величина, изменяющаяся от 0 до $+\infty$. Поэтому для определения глубины промерзания использованы кривые биномиального, трехпараметрического Γ -распределения и двойного

экспоненциального распределения. Анализ этих кривых в применении к определению глубины промерзания дал хорошие результаты, расхождения между фактическими данными и определенными по кривым обеспеченности составляют ± 10 см. Следовательно, определение глубины промерзания можно вести методами математической статистики с использованием всех трех кривых распределения (обеспеченности). Методика определения глубины промерзания грунтов статистическим методом заключается в обработке статистических данных, которые в обобщенном виде учитывают все факторы, влияющие на глубину промерзания.

В зависимости от наличия фактических данных нами разработано два способа определения расчетной глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности.

Первый способ - данные наблюдений за глубиной промерзания грунта имеются (не менее 10 лет), их можно получить на метеостанциях.

Второй способ - данные наблюдений за глубиной промерзания отсутствуют (наиболее распространенный случай).

Порядок определения глубины промерзания по первому способу:

1. На основании имеющихся данных наблюдений составляется статистический ряд максимальных глубин промерзания грунтов за каждый год в убывающем порядке.

2. Определяем среднее арифметическое статистического ряда, т.е. среднюю глубину промерзания

$$\bar{z} = \frac{\sum z_i}{n},$$

где $\sum z_i$ - сумма промерзания грунта за n лет;
 n - число лет наблюдений.

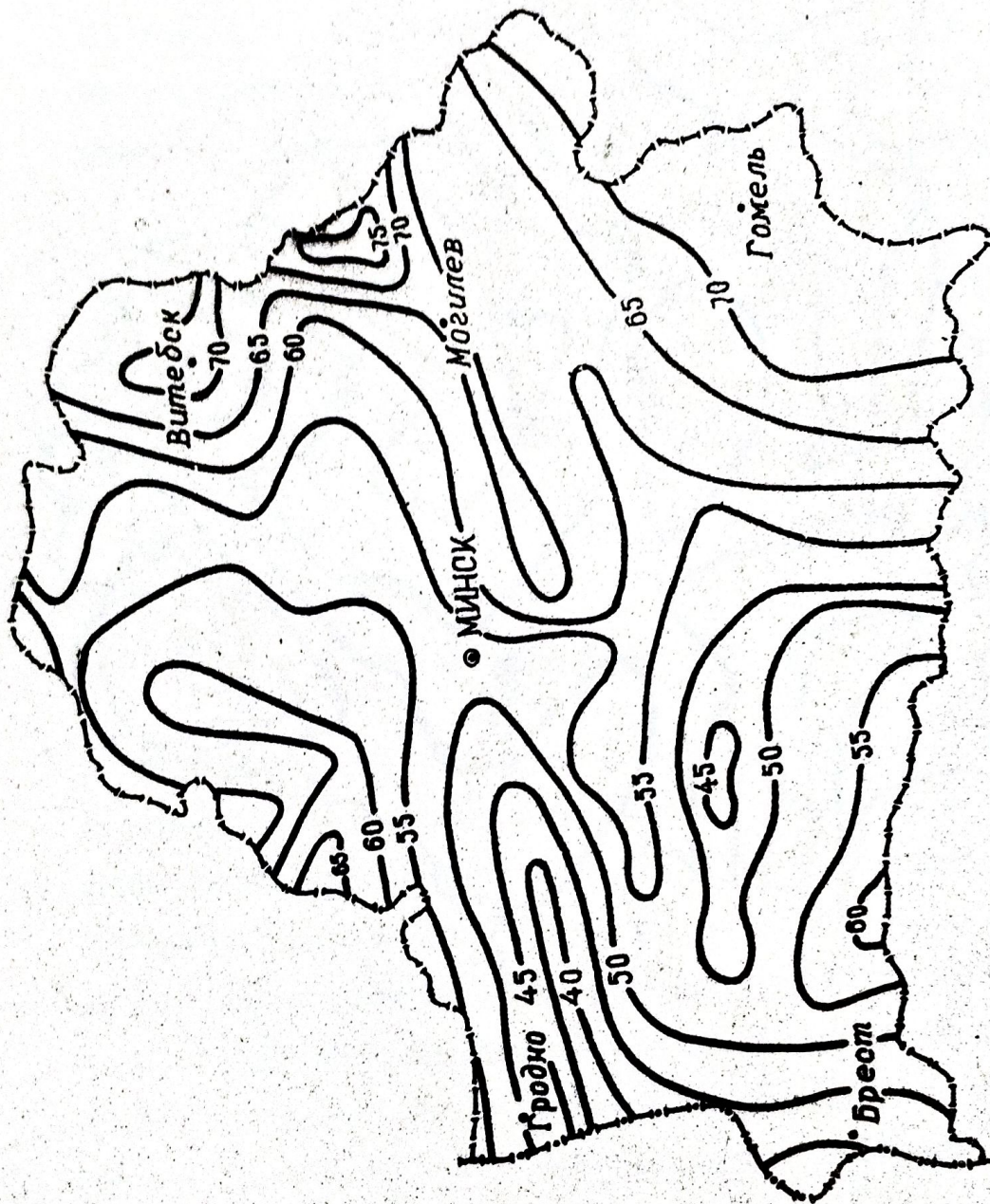


Рис. I Карта изолиний средней многолетней глубины промерзания
грунта.

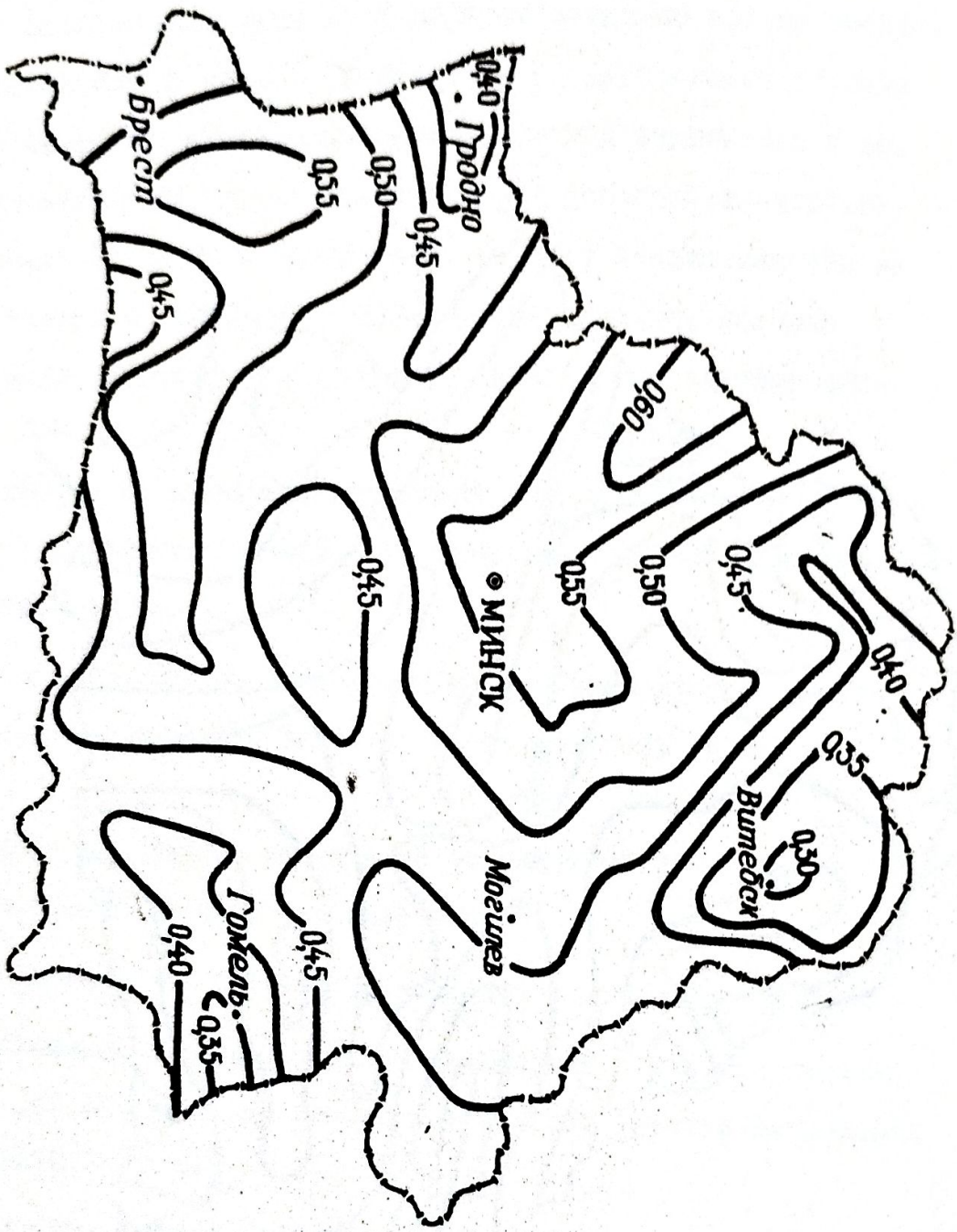


Рис. 2 Карта изотиний коэффициента вариации C_v .

3. Вычисляем модульный коэффициент для каждого года наблюдения

$$K = \frac{Z_i}{Z_{cp}}$$

4. Определяем коэффициенты вариации, асимметрии.

5. По вычисленным коэффициентам вариации C_v , асимметрии C_s и заданном проценте обеспеченности по таблицам С.И.Рыбкина при $C_s = 2C_v$, или С.Н.Крицкого и М.Ф.Менкеля при $C_s \neq 2C_v$ определяется модульный коэффициент K_s . Для двойного экспоненциального распределения K_s определяется по следующей формуле

$$K_s = 1 + C_v \left(\frac{y - \bar{y}}{\sigma_n} \right), \quad (41)$$

где y, \bar{y}, σ_n - соответственно действительное, среднее и стандартное отклонение.

7. Максимальную глубину промерзания грунтов под снежным покровом определяем по формуле

$$Z = K_s \cdot Z_{cp}. \quad (42)$$

Второй способ. Определение глубины промерзания основано на построенных нами картах изолиний средней максимальной глубины промерзания грунтов (рис.1) и коэффициента вариации (рис.2). Для построения карт изолиний Z_{cp} и C_v использованы данные 26 агрометеостанций, расположенных на территории БССР, на которых в течение 16-22 лет производились наблюдения за глубиной промерзания грунтов. Такие же карты построены для Европейской части СССР, для которых использованы и обработаны данные наблюдений за глубиной промерзания 865 агрометеостанций.

Порядок определения глубины промерзания грунтов с помощью карт изолиний следующий:

1. По карте изолиний (рис.1) и (рис.2) определяется соответственно средняя максимальная глубина промерзания Z_{cp} и коэффициент вариации C_v .

2. вычисляется коэффициент асимметрии C_s .

3. По найденным значениям коэффициентов вариации и асимметрии и заданному проценту обеспеченности по таблицам С.И.Рыбкина при $C_s = 2C_v$ находится модульный коэффициент K_s , который также можно определять по номограмме, составленной нами.

4. Определяется глубина промерзания грунтов заданной обеспеченности под снежным покровом по формуле (42).

Проведенные расчеты по двум способам показали, что отклонение между ними составляет 4-5%. Это говорит о том, что второй способ вполне может быть применен для определения глубины промерзания. Однако, следует отметить, что карты изолиний составлены на основании данных о глубине промерзания грунта под снежным покровом, а при проектировании и строительстве автомобильных дорог необходимо знать глубину промерзания грунтов без учета влияния снежного покрова. Глубина промерзания под снегом в 3-4 раза меньше, чем грунта, оголенного от снежного покрова. В результате совместной обработки данных о глубине промерзания под снегом и без него получен переходный коэффициент, который колеблется в пределах от 1,7 до 2,3.

Таким образом, зная переходный коэффициент K_n глубина промерзания грунтов без снега определится по следующей формуле

$$Z = K_n \cdot K_s \cdot Z_{cp}. \quad (47)$$

Переходный коэффициент K_n принимается в зависимости от процента обеспеченности. Следовательно, для того чтобы использовать предложенный метод расчета глубины промерзания необходимо знать

расчетную обеспеченность исследуемой величины.

Расчетная обеспеченность обычно устанавливается в результате экономических исследований и во многих случаях является нормативной величиной. Однако, таких данных в СССР не имеется, поэтому следуя проф. В. М. Сиденко рекомендуем процент обеспеченности принимать в зависимости от технической категории дороги, а соответственно проценту обеспеченности - переходный коэффициент. Для автомобильных лесовозных дорог процент обеспеченности для дороги I-ой категории - 5%, II-ой категории - 10%, III-ей категории - 20%, а переходный коэффициент для супесчаных грунтов соответственно равен - 1,82; 1,92; 2,04.

Для других типов грунтов эти коэффициенты требуют уточнения.

Теоретические исследования

Миграция влаги из боковых канав в земляное полотно

Теория влагонакопления, разработанная проф. Н. А. Пузаковым и В. М. Сиденко, включает вопросы передвижения влаги в вертикальном направлении (сверху вниз или наоборот). Но известно, что увлажнение земляного полотна может происходить и за счет влаги, передвигающейся из боковых канав или резервов. Поэтому возникает вопрос, на сколько увеличится влажность грунта земляного полотна при увлажнении его из боковой канавы? За какое время и на какое расстояние она может передвинуться, увеличив влажность грунта до полной влагоемкости? Решение данного вопроса послужит основой для расчета водоотводных канав, назначения крутизны откосов и способа их крепления.

Нами исследовался случай, когда боковая канава расположена на водоупоре, как самый невыгодный с точки зрения увлажнения грунтов земляного полотна.

При описании процесса передвижения влаги из боковых канав в земляное полотно, общее уравнение потока влаги имеет вид

$$\frac{\partial W}{\partial t} = k \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial x^2}, \quad (51)$$

где W - влажность грунта; t - время увлажнения;
 k - коэффициент влагопроводности грунта; x - расстояние от источника увлажнения.

Для решения этого уравнения сделаны следующие допущения.

1. Грунтовый массив является однородным и имеет одинаковую плотность
2. Передвижение влаги происходит только в горизонтальном направлении, т.е. земляное полотно расположено на водоупоре, а также отсутствует испарение
3. Передвижение влаги происходит за счет градиента влажности.

Для решения уравнения (51) приняты следующие начальные и краевые условия

$$\text{начальные условия } W \Big|_{t=0} = \begin{cases} 0 & -l < x < 0 \\ W_0 & 0 < x \leq l \\ 0 & l < x \end{cases}$$

$$\text{граничные условия } W_{x=0} = W_n.$$

Решение уравнения (51) было произведено с использованием метода Фурье, в результате решения этого уравнения получено выражение для определения влажности грунта земляного полотна в зависимости от расстояния и продолжительности действия источника увлажнения

$$W_{(x,t)} = W_n \left[1 - \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{kt}}\right) \right] + \frac{W_0}{2} \left[2\Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{kt}}\right) - \Phi\left(\frac{x-l}{2\sqrt{kt}}\right) - \Phi\left(\frac{x+l}{2\sqrt{kt}}\right) \right], \quad (72)$$

где W_n - полная влагоемкость грунта, %; W_0 - естественная влажность грунта, %; l - расстояние от источника увлажнения, см; k - коэффициент влагопроводности грунта, см²/сутки, он учитывает тип грунта; t - время увлажнения, сутки; x - текущая координата, см.

На основании выражения (72) с помощью ЭВМ "Промінь" получены данные для некоторых типов грунтов (песок, супесь, суглинок, глина), характеризующие изменение влажности грунта в зависимости от первоначальной влажности, от расстояния до источника увлажнения и от продолжительности действия последнего. Полученные данные позволили установить, что интенсивное передвижение влаги происходит в основном в первые пять суток и достигает 60-70% в зависимости от первоначальной влажности грунта (рис. 3 и 4). Максимальное расстояние, на которое может передвинуться влага из боковых канав в течение 20 суток составляет для глинистых грунтов - 2,5 ÷ 3,5 м, суглинистых - 3 ÷ 4 м, супесчаных - 7 ÷ 9 м, мелкого песка - 27 ÷ 36 м.

Прогнозирование пучинообразования

При проектировании и строительстве автомобильных дорог всегда необходимо знать величину пучения. Зная абсолютную величину пучения можно запроектировать инженерные мероприятия, которые устранят или уменьшат его и тем самым предохранят дорожное покрытие от разрушения. В связи с этим, нами предложено производить прогнозирование пучинообразования, цель которого состоит в том,

чтобы проектировщик или строитель знал, когда и какой величины может появиться пучина в данном конкретном месте строительства в зависимости от климатических, грунтовых и гидрологических условий. В основу методики прогнозирования пучинообразования положена теория влагонакопления для третьей расчетной схемы, разработанная проф. Н.А. Пузаковым

$$H_3 = \frac{2,2 k_k (W_k - W_0)}{\alpha_0} \left(h \cdot 2,3 \lg \frac{h}{h - Z} - Z \right), \quad (75)$$

где W_0 - максимальная молекулярная влажность грунта, в долях единицы; W_k - капиллярная влагоемкость грунта, в долях единицы; k_k - коэффициент капиллярной влагопроводности, см²/сутки; h - глубина залегания грунтовых вод, см; α_0 - климатический параметр, см²/сутки; Z - наибольшая глубина промерзания, см.

Прогнозирование вероятности появления пучин производится в следующем порядке:

1. Принимается величина пучения для заданного участка дороги (допускаемая, контрольная или какая-либо другая искомая величина).

2. По формуле (75) путем подбора или по графикам, построенным по этой формуле, подбирается значение глубины промерзания Z_0 , при которой эта величина пучения может иметь место.

3. Учитывая величину Z_0 и найдя по карте изолиний (рис. I) среднюю максимальную глубину промерзания грунтов Z_{cp} , определяется модульный коэффициент

$$k_s = \frac{Z_0}{k_n Z_{cp}}, \quad (76)$$

где k_n - переходный коэффициент, учитывающий влияние снежного покрова.

4. По карте изолиний (рис.2) для рассматриваемого района определяется коэффициент вариации C_v . Зная коэффициент вариации C_v и модульный коэффициент K_s , по таблицам С.И.Рыбкина находится вероятность появления пучины заданной величины.

По условиям пучинообразования территория Белорусской ССР разделена на четыре зоны. Деление на зоны производилось с учетом климатических, грунтовых и гидрологических условий. Для каждой зоны определена величина морозного пучения по вышеописанной методике. Полученная величина морозного пучения для III-ей расчетной схемы по увлажнению составляет: для глинистых грунтов 12-16 см; суглинистых 4,5-6 см; супесчаных пылеватых 7-9 см; мелкого песка 2-3 см. При этом коэффициент морозного пучения колеблется от 3 до 11%. Следовательно, данные грунты относятся к пучинистым.

Экспериментальные исследования

Экспериментальные исследования влажностного и температурного режима грунтов земляного полотна проведены на опытных участках, расположенных на автомобильных дорогах г.Городок - дер.Веречье (Витебская область), участок № 4, г.п.Колодище - г.п.Заславль участок № 3 и г.Минск - дер.Паперня (Минская область) участки № 1 и № 2.

Характеристика опытных участков приведена в табл.3.

Таблица 3

№№ опытно-го участка	Рабочие отметки	Тип покрытия	Грунты земляного полотна	Условия водоотвода	Примечание
1	2	3	4	5	6
I	насыпь 0,5 м	асфальто-бетонное	пылеватая супесь	затруднительный, УГВ 1,2-1,5 м	Сильно пучинистый участок

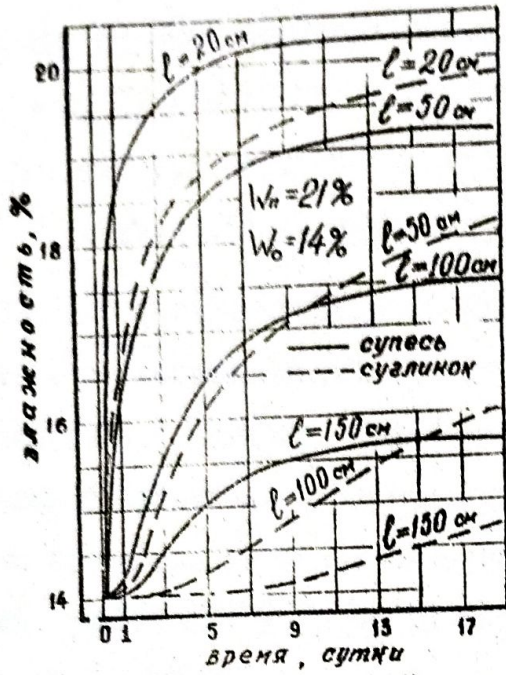


Рис. 3 Изменение влажности грунта в зависимости от расстояния до источника увлажнения и продолжительности его действия.

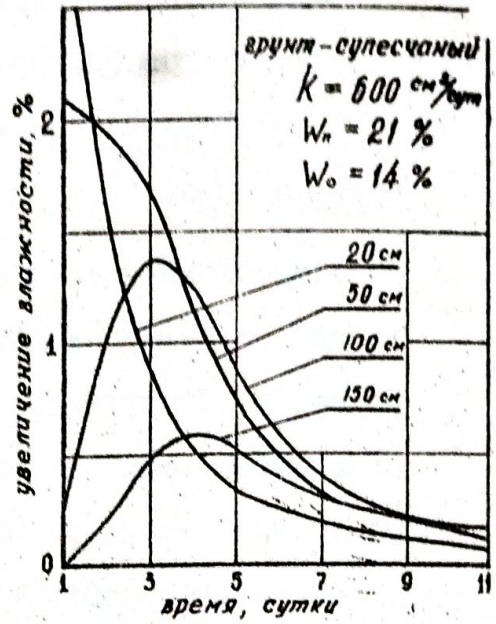


Рис. 4 Интенсивность нарастания влажности грунта в зависимости от расстояния до источника увлажнения и времени его действия.

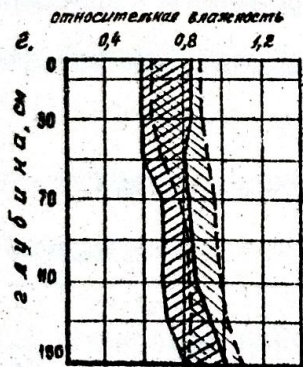
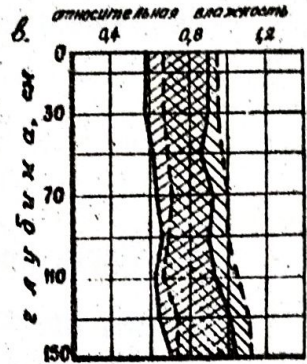
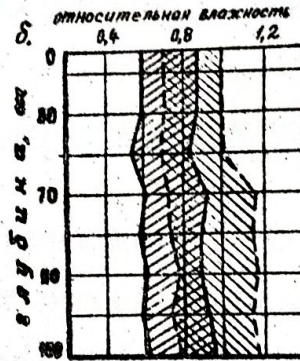
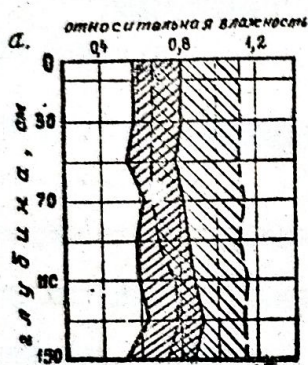


Рис. 5 Годовое колебание относительной влажности по глубине в земляном полотне автомобильной дороги (сложной линией - по оси дороги, пунктирной - по обочине)

- а - участок 1 - асфальтобетонное покрытие;
- б - участок 2 - гравийное покрытие;
- в - участок 3 - гравийное покрытие;
- г - участок 4 - гравийное покрытие.

продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6
2	насыпь 1,2 м	гравийное	супесь	удовлетворительный УГВ-2 м и более	-
3	нулевое место	гравийное	сугли- нок	обеспечен УГВ - 1,5 м	-
4	насыпь 0,6 м	гравийное	супесь	затруднительный УГВ 1-1,5 м	-

Примечание. Первый участок взят для сравнения

При исследовании водно-теплового режима земляного полотна руководствовались методикой, разработанной СоюзДорНИИ для автомобильных лесовозных дорог. Для измерения влажности грунтов земляного полотна применялся почвенный влагомер АМ-II, в комплект которого входит мегометр и угольные датчики, а для измерения температуры применялись термосопротивления ММТ-4 (13 кΩ) и неуравновешенный мост, сконструированный нами. Датчики влажности и температуры были установлены на обочине, по оси дороги и на обресе на расстоянии 10 м от бровки земляного полотна. Глубина заложения датчиков составляла: 30, 50, 70, 90, 110, 130 и 150 см

Перед установкой датчики соединялись в отдельные связки по 7 штук на расстоянии друг от друга 20 см. Выводы соединительных проводов закладывались в откосе дороги. В общей сложности на опытных участках было заложено по 112 датчиков влажности и температуры. Перед закладкой датчики были протарированы и построены тарировочные графики. По этим графикам в зависимости от показаний мегометра и прибора температуры (неуравновешенный мост) определялась влажность и температура грунта земляного полотна. Для контроля влажность определялась также весовым способом. Данные наблюдений за изменением влажности грунтов земляного полотна пре-

2278 ар.

Б-ка БТИ н.т. С. М. Карога
г. Минск, Свердлова, 13

дварительно обрабатывали следующим образом: сначала вычисляли среднюю за день наблюдений относительную влажность грунта в слое глубиной 0,8 м ниже одежды, затем из имеющихся наблюдений за весь сезон определяли максимальное значение средней влажности грунта в слое 0,8 м, а также для обработки данных был применен метод "годо-ставций", предложенный проф. Н.А.Пузаковым. Годовое колебание относительной влажности по глубине в земляном пологне приведено на рис.5, а средняя максимальная относительная влажность грунтов в слое 0-80 см в табл.4.

Таблица 4

Тип местности	Высота насыпи, м	Средняя максимальная влажность грунта в зависимости от типа грунта: в числителе определенная нами, в знаменателе - по данным проф. Н.А.Пузакова, в скобках - Е.И.Шелопаева		
		Супеси	Суглинки	Пылеватые супеси и суглинки
I	> 0,5	65/63(67)	-/50(68)	-/66(73)
II	< 0,5	-/80(80)	74/73(77)	79/75(83)
	> 0,5	75/87(72)	-/69(73)	-/73(76)

Экспериментальные исследования влажностного режима грунтов земляного полотна показали, что наименьшая влажность грунта приходится на летние месяцы и колеблется в пределах 0,42-0,55 от предела текучести, а наибольшая - предел текучести-во время оттаивания грунта, осенью - 0,80 от предела текучести. Во всех случаях влажность грунта земляного полотна под покрытием меньше, чем на обочине. Во время промерзания грунта увеличение влажности в верхних слоях происходит за счет миграции влаги из нижних талых слоев, а также грунтовых вод.

В задачу исследования промерзания грунтов входило установление

фактической глубины промерзания, скорости промерзания и оттаивания грунтов земляного полотна, климатического параметра κ . Глубина промерзания и оттаивания грунта фиксировалась по изменению температуры грунта. Начало промерзания грунтов земляного полотна в Белоруссии происходит во второй половине ноября, а начало оттаивания в конце марта-начале апреля. Ход температур при промерзании грунта земляного полотна показан на рис. 6. Скорость промерзания грунтов земляного полотна по оси дороги с гравийным покрытием составляет 1,3-2,1 см/сутки, а на обочине - 0,8-1,9 см/сутки. Продолжительность периода промерзания - 80-120 суток, в 1968-1969 гг. составила 139 суток. Скорость оттаивания по оси дороги 2,3-4,0 см/сутки, а на обочине - 2,0-3,5 см/сутки.

Сравнительно невысокая скорость промерзания грунтов в условиях БССР объясняется умеренно-теплым континентальным климатом с большим числом дней оттепелей за зиму. Небольшая скорость промерзания способствует сильному влагонакоплению в грунтах земляного полотна, а следовательно, и увеличению влажности грунта в период оттаивания, которая достигает предела текучести. Оттаивание грунта земляного полотна происходит как сверху, так и снизу. Скорость оттаивания сверху быстрее, чем снизу, это объясняется быстрым нарастанием положительных температур.

Для проверки теоретических выводов по передвижению влаги в горизонтальном направлении были проведены экспериментальные исследования для двух типов грунтов - супесь и суглинок. Полученные при этом данные также показали, что интенсивное увеличение влаги идет первые 5-10 суток. Насыщение грунта наступает тем раньше, чем ниже первоначальная влажность грунта. Чем больше плотность грунта, тем меньше количество мигрирующей влаги. Между влажностью грунта и расстоянием от источника увлажнения существует прямолинейная

связь.

$$W = b - al, \quad (80)$$

где W - влажность грунта, %; a, b - параметры уравнения, определяемые опытом; l - расстояние от источника увлажнения, см.

Обработка данных велась по методу наименьших квадратов. Корреляционный коэффициент связи составляет более 0,80, а ошибка связи не превышает 2%, т.е. связь довольно тесная. Экспериментально проверены теоретические предпосылки определения миграции влаги в горизонтальном направлении. Расхождения между экспериментальными и теоретическими данными не превышают 5%.

Выводы и рекомендации

В результате проведенных исследований установлен ряд зависимостей, получены некоторые практические рекомендации и сделаны выводы по учету водно-теплового режима при проектировании автомобильных лесовозных дорог. Суть выводов и рекомендаций состоит в следующем.

1. Определение глубины промерзания грунтов земляного полотна рекомендуется производить на основании теории вероятностей и математической статистики.

2. В зависимости от наличия фактических данных наблюдений разработаны два способа определения ^{расчетной} глубины промерзания грунтов: первый - при наличии фактических данных о глубине промерзания, второй - при их отсутствии.

Определение глубины промерзания по второму способу, как наиболее часто встречающемуся в практике дорожного строительства, следует производить с помощью разработанных нами карт изолиний средней максимальной глубины промерзания грунтов и коэффициента вариации.

Разработанный метод определения глубины промерзания грунтов достаточно прост и дает возможность определить глубину промерзания заданной обеспеченности.

3. Расчетную обеспеченность при определении глубины промерзания грунтов земляного полотна следует принимать в зависимости от категории автомобильной лесовозной дороги: для дороги I-ой категории - 5%; II-ой категории - 10%; III-ей категории - 20%, соответственно переходный коэффициент, учитывающий влияние снежного покрова, определенный нами для супесчаного грунта, равен - 1,82; 1,92 и 2,04.

Для определения глубины промерзания грунтов под снегом необходимо пользоваться формулой (42), а без снега - формулой (47).

4. Начало промерзания грунтов земляного полотна в Белоруссии происходит во второй половине ноября, а оттаивание - в конце марта-начале апреля. Скорость промерзания грунтов земляного полотна составляет 1,3-2,1 см/сутки, а скорость оттаивания - 2,3-4,0 см/сутки. Оттаивание грунта земляного полотна происходит как сверху, так и снизу. Величина оттаивания грунта за счет потока тепла снизу составляет 15-25% от максимальной глубины промерзания. Зимние оттепели не вызывают оттаивания грунта верхних слоев, а задерживают продвижение нулевой изотермы, тем самым способствуют влагонакоплению.

5. Главной отличительной чертой территории Белоруссии от центра Европейской части СССР является неглубокое и медленное промерзание грунтов с интенсивным влагонакоплением, которое в весенний период приводит к переувлажнению грунтов земляного полотна.

6. По данным исследований на опытных участках влажность грунта земляного полотна в период его оттаивания весной достигает предела текучести. Этот период является наиболее опасным по усло-

влиям устойчивости и прочности грунта земляного полотна. Поэтому он должен учитываться при назначении модуля деформации грунтов. Летом влажность грунта земляного полотна колеблется в пределах 0,42-0,55 от предела текучести, а осенью за счет выпадения атмосферных осадков достигает 0,8 от предела текучести. Во всех случаях влажность грунта земляного полотна под покрытием меньше, чем на обочине.

7. В результате исследований сезонного колебания влажности, получены расчетные ее значения

$$W_p = 0,83 W_{on} , \quad (102)$$

т.е. расчетная влажность грунта земляного полотна W_p составляет 83% от влажности грунтов открытого поля на глубине 50 см.

8. Анализ данных, полученных в результате решения уравнения (72) на ЭВМ "Промінь", показывает, что интенсивное увеличение влажности грунта идет первые 5 суток и составляет 60-70% по сравнению с последующим увеличением. Насыщение грунта наступает тем раньше, чем ниже его первоначальная влажность. На скорость передвижения влаги влияет не только первоначальная влажность грунта, но и полная влагоемкость, которая для одного и того же грунта может быть различной и зависит от минералогического состава.

9. Максимальное расстояние, на которое может происходить миграция влаги в течение 20 суток составляет: для глинистых грунтов 2,5 + 3,5 м; суглинистых 3 + 4 м; супесчаных 7 + 9 м и мелкого песка 27 + 36 м.

10. Разработанная методика прогнозирования пучинообразования позволяет производить проверку морозоустойчивости дорожной конструкции и решать многие вопросы, связанные со строительством и эксплуатацией автомобильных дорог. По условиям пучинообразования территория Белоруссии разделена на четыре зоны.

II. Климатический параметр α_0 для условий Белорусской ССР колеблется в пределах 50-110 см²/сутки. Сравнительно небольшая величина коэффициента α_0 объясняется тем, что глубина промерзания грунтов мала при довольно продолжительной зиме.

12. При проектировании автомобильных лесовозных дорог в условиях Белоруссии следует учитывать, что расчетная глубина промерзания Z_p больше критической $Z_{кр}$ ($Z_p > Z_{кр}$). Поэтому приток воды в зону промерзания длится не всю зиму, а в течение критического времени $T_{кр}$, которое равно 30-120 суток.

13. При назначении минимального возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод в зависимости от климатических и гидрологических условий рекомендуем следующие расчетные схемы:

а) первая - уровень грунтовых вод залегает глубоко, высоту насыпи необходимо назначать исходя из минимального объема земляных работ, обеспечения поверхностного стока воды, предотвращения снеготановов и т.д.

б) вторая - уровень грунтовых вод расположен на такой глубине, что приток влаги существенно влияет на глубину промерзания. Высота насыпи определяется по формуле проф. Н.А. Пузакова

$$H_H = Z + \frac{k S Z}{\alpha_0 \Omega_{заг}}, \quad (105)$$

где Z - глубина промерзания, см; k - коэффициент фильтрации грунта, см/сутки; S - всасывающая сила грунта, см; $\Omega_{заг}$ - допускаемый удельный приток влаги; α_0 - климатический параметр, см²/сутки.

в) третья - глубина промерзания грунтов больше глубины залегания уровня грунтовых вод;

г) промерзание грунта отсутствует;

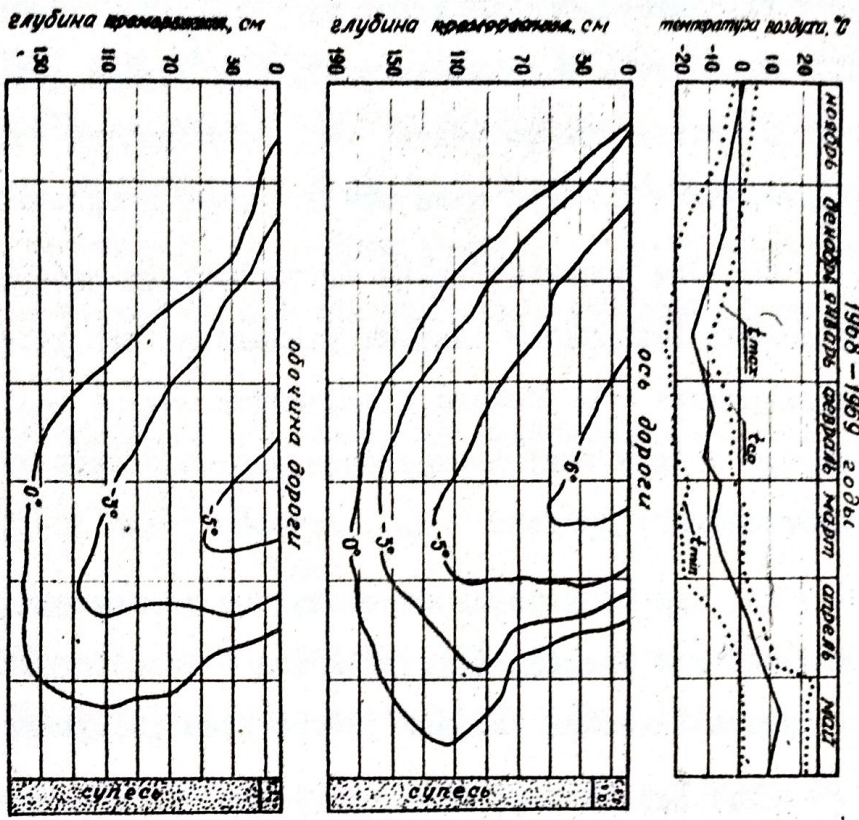


Рис. 6 Ход температур при промерзании грунта земляного полотна.

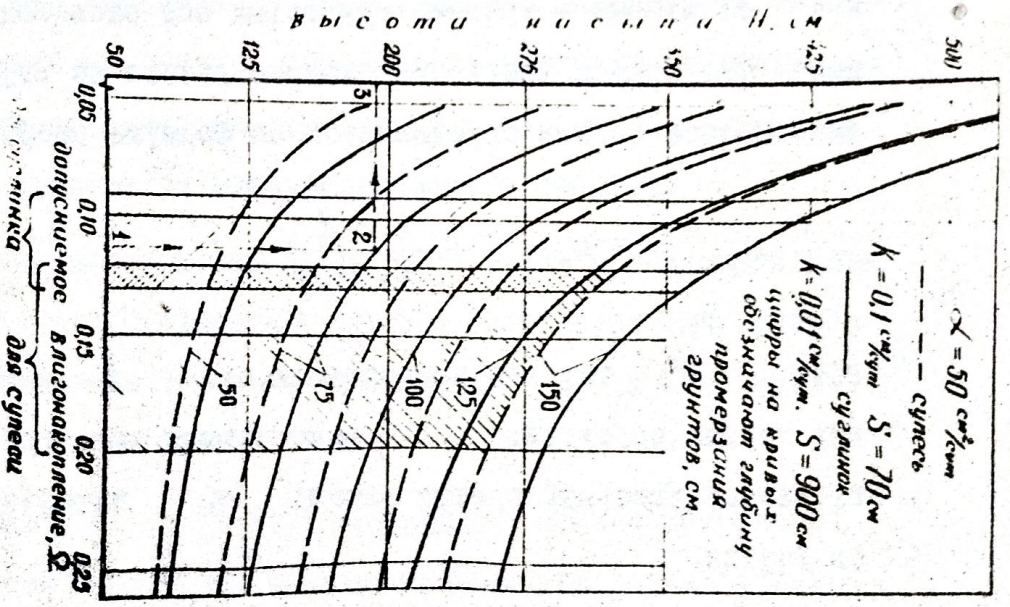


Рис. 7 Номограмма для определения высоты в зависимости от допускания влаги в грунтах (климатический параметр $\alpha_0 = 50 \frac{\text{см}^2}{\text{сут}}$).

д) земляное полотно расположено на болоте.

Наиболее характерной для условий Белоруссии является вторая расчетная схема. Применительно к этой расчетной схеме в зависимости от типа грунта, глубины промерзания, удельного влагонакопления и климатического коэффициента определена высота насыпи автомобильных лесовозных дорог над уровнем грунтовых вод (табл.5), которая рекомендуется, как минимальная для условий Белоруссии.

Таблица 5

Тип грунта	Высота насыпи автомобильных лесовозных дорог над уровнем грунтовых вод, см для климатических зон БССР			
	I	II	III	IV
Супесчаный	172	165	158	130
Пылеватый	200	190	170	141
Суглинок тяжелый	204	195	172	140
Глинистый	240	230	204	160

14. В общем случае определение высоты насыпи автомобильных лесовозных дорог над уровнем грунтовых вод необходимо производить с учетом соответствующей расчетной схемы, т.е. должен быть дифференцированный подход, учитывающий водно-тепловой режим местности и другие условия.

15. Для предварительных расчетов высоты насыпи необходимо пользоваться номограммой (рис.7), которая позволяет определить:

а) по допустимому для данного типа грунта удельному влагонакоплению необходимое возвышение бровки земляного полотна при разной глубине его промерзания;

б) при данной высоте насыпи допускаемое удельное влагонакоп-

ление для разной глубины ее промерзания или, наоборот, при данной глубине промерзания, какое будет удельное влагонакопление для различного возвышения бровки земляного полотна над уровнем грунтовых вод.

Предложенная номограмма позволяет вести вариантное проектирование.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

✓ 1. Определение глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности применительно к задачам проектирования дорог. Сб. трудов БТИ им. С. М. Кирова "Вопросы лесозаготовок и транспорта леса", издательство "Вышэйшая школа", Минск, 1967 (в соавторстве с И. И. Леоновичем)

✓ 2. Предпосылки к определению параметров земляного полотна лесовозных автомобильных дорог. Сб. трудов аспирантов БТИ им. С. М. Кирова "Вопросы лесоводства и лесозаготовки", издательство "Вышэйшая школа", Минск, 1967.

✓ 3. Пособие по расчету земляного полотна и одежд автомобильных лесовозных дорог, Минск, 1968 (в соавторстве с И. И. Леоновичем, Т. К. Богданович).

✓ 4. Исследование водно-теплового режима земляного полотна автомобильных дорог. Тезисы докладов Республиканской научно-технической и методической конференции по сухопутному транспорту леса 17-19 сентября 1969 г., издательство "Полымя", Минск, 1969.

✓ 5. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. Тезисы докладов научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии. Издательство ротاپринт БТИ им. С. М. Кирова, Минск, 1969.

✓ 6. Максимально допустимая влажность грунтов земляного полотна. Межведомственный научно-технический сборник "Механизация лесозаготовок и транспорт леса", издательство "Вышэйшая школа,

Минск, в печати.

7. Прогнозирование пучинообразования на автомобильных дорогах Белоруссии. Сб. "Вопросы эксплуатации автомобильных дорог и мостов", издательство "Транспорт", Москва, в печати (в соавторстве с И.И. Леоновичем).

8. Статистический метод определения глубины промерзания грунтов. Сб. "Отопление, вентиляция и строительная теплофизика", издательство "Высшая школа", Минск, в печати (в соавторстве с И.И. Леоновичем).

9. Определение изменения влажности грунтов земляного полотна в зависимости от расстояния и продолжительности действия источника увлажнения (в соавторстве с И.И. Леоновичем, П.В. Ползик, С.Н. Ярошевский).

Материалы диссертации были доложены:

1. На научно-технических конференциях в 1967-1969 годах в Белорусском технологическом институте им.С.М.Кирова.
2. На научно-технической конференции в 1967 г. в Брестском инженерно-строительном институте.
3. На научно-технической конференции в 1969 г. в Белорусском политехническом институте.
4. На Республиканской научно-технической и методической конференции по сухопутному транспорту леса 17-19 сентября 1969 г., гор. Минск.
5. На научно-технической конференции молодых ученых Белоруссии, гор. Минск, 1969 г.

АТ 08199, зак. 409, тир. 120экз .7.4.1970 года, БТИ им. С.М. Кирова,
г. Минск, Свердлова, 13.