

- 1) состояние покрытия: сухо, влажно, влажно + химикаты; мокро; мокро + химикаты; иней; снег; лед;
- 2) замерзание, дождь, обледенение;
- 3) состав и количество химикатов по предотвращению обледенения (количество, г/м<sup>2</sup>; концентрация, г/л;
- 4) падение температуры замерзания, °С.
- 5) обнаружение «черного льда»;
- 6) температуру дорожного покрытия, °С;
- 7) температуру земли, °С

## **Литература**

1. Леонович И.И. Дорожная климатология: электронное учебное пособие / И.И. Леонович. – Мн.: БНТУ, 2007.
2. <http://www.bestpravo.ru/rossijskoje/xd-pravila/d6k.htm>
3. [http://www.infomarccompany.com/arws\\_aws.htm](http://www.infomarccompany.com/arws_aws.htm)

## **Снежный покров на территории Республики Беларусь и его влияние на объем, и характер дорожных работ в зимний период**

Куцая М.В.

Белорусский национальный технический университет

### **Введение**

Водно-тепловой режим – это закономерное изменение влажности и температуры в различных точках земляного полотна в течение года [1]. Изменения влажности и температуры в земляном полотне тесно связаны между собой, а поэтому рассматриваются комплексно в виде водно-теплого режима.

Водно-тепловой режим земляного полотна и окружающей местности имеют тесную связь, но и определенное отличие, которое заключается в том, что теплопроводность и теплоемкость покрытий и поверхности грунта за пределами дороги неодинаковы; структуры грунта земляного полотна и грунта окружающей местности разные. В процессе эксплуатации дороги вода и снег систематически удаляются с покрытия, а на окружающей местности задерживаются продолжительное время. Отличие водно-теплого режима дорожной конструкции и окружающей местности также во многом зависит от

технологии возведения земляного полотна, источников получения грунта и типа машин, выполняющих строительство.

При строительстве земляного полотна из боковых резервов, привозного грунта происходит нарушение структуры грунта, в то время, как местный грунт разрушению не подвергается. В земляном полотне под действием уплотняющих средств, под воздействием движущегося транспорта создается специфический водно-тепловой режим, под влиянием которого формируется новое равновесное состояние грунта, а влажность, температура и плотность грунта колеблются в определенных пределах и подчиняются циклическому закону в течение года.

### **Глубина промерзания грунта земляного полотна**

Промерзание грунтов – это переход грунта из одного состояния в другое с резким изменением его физико-механических свойств. Это сложный процесс, протекающий по-разному для различных видов грунтов. Все грунты по особенностям их промерзания в природных условиях подразделяются на три основные группы [6, 7]:

I – суглинки и глины;

II – супеси, мелкие и пылеватые пески;

III – средние пески, крупнозернистые и крупнообломочные грунты.

Глубина и характер промерзания грунтов зависят от температуры воздуха, высоты снежного покрова, растительности, типа грунта, степени увлажнения его и ряда других метеорологических факторов.

По данным наблюдений [6], глубина проникновения нулевой изотермы при одинаковой сумме отрицательных среднесуточных температур воздуха (635 градусо-дней) для различных типов грунтов разная: для суглинков – 135 см; мелких и пылеватых песков – 139 см; крупнообломочных грунтов – 177 см. Неодинаковы также глубина проникновения отрицательной температуры в грунт и температура замерзания грунтов. Крупнообломочные грунты замерзают при температуре, близкой к 0 °С, с образованием заметной границы между талым и мерзлым грунтами. При промерзании мелкодисперсных грунтов образуется зона промерзания (слой, в котором происходят фазовые превращения воды), разделяющая полностью промерзший и талый грунты.

Температура замерзания мелкодисперсных грунтов более низкая, чем у крупнообломочных грунтов. Это связано с тем, что мелкозернистые грунты имеют мелкие поры и повышенное количество связанной воды, которая замерзает при значительно низшей температуре, чем свободная вода.

Грунтовая вода обычно является связанной, плотность ее более единицы, содержит, как правило, растворимые соли, взвешенные частицы, испытывает большое давление со стороны защемленного воздуха, имеет меньшую степень

подвижности, чем вода, находящаяся в свободном состоянии. Совокупность указанных свойств как раз и понижает температуру замерзания грунтовой влаги, а вместе с ней и самого грунта. Установлено, что все грунты замерзают при температуре ниже 0 оС. Существенное влияние на это оказывают вид грунта, его влажность и продолжительность действия отрицательной температуры.

Например, глинистый грунт с влажностью 30 % замерзает при температуре от минус 1,0 оС до минус 2,0 оС, а песок с 10 %-ной влажностью – при температуре минус 0,5 оС. Это говорит о том, что глубина промерзания грунтов зависит не только от вида грунта, но и от его влажности. Чем выше температуропроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность грунта в начальный момент способствует промерзанию, так как увеличивает теплопроводность, а в дальнейшем процесс замедляется. Это связано с тем, что при замерзании воды выделяется теплота льдообразования, поэтому скорость и глубина промерзания более влажного грунта будут меньше, чем грунта с меньшей влажностью.

Вопросу промерзания грунта посвящены работы многих исследователей: М. Н. Гольдштейна, В. С. Лукьянова, И. И. Леоновича, И. А. Золотаря, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко, А. Я. Тулаева и др. Анализируя данные исследования, а также проведенные авторами статьи, можно сделать заключение, что на глубину промерзания влияет многообразие факторов, которые целесообразно разделить на две группы.

К первой группе относятся факторы зонального характера (рельеф местности, тип грунта и др.), величина которых почти не изменяется во времени.

Во вторую группу входят факторы, существенно изменяющиеся во времени. К ним относятся: сумма отрицательной температуры воздуха, продолжительность и интенсивность действия отрицательной температуры, высота снежного покрова, залегание уровня грунтовых вод, влажность грунта и др. Указанные факторы не только трудно определяемые, но некоторые из них не поддаются учету, поэтому и результаты, полученные предлагаемыми способами, различные (таблица 2). Из таблицы 2 видно, что глубина промерзания, определенная по формулам для одной и той же местности (г. Минск), для одного и того же типа грунта, неодинакова, а колеблется в широких пределах. Разность между максимальной и минимальной глубинами промерзания составляет более 50 %. Это можно объяснить тем, что формулы учитывают действие не всех, а только некоторых факторов. Учесть существенное влияние большого числа факторов на глубину промерзания, по мнению авторов, можно, используя методы математической статистики для обработки данных натуральных наблюдений.

## **Обоснование и выбор метода определения глубины промерзания грунтов**

Из анализа работ по определению глубины промерзания грунтов следует, что она в основном зависит от климатических, гидрологических, грунтовых и других природных условий, которые варьируются в широких пределах, поэтому и глубина промерзания не остается постоянной, а изменяется из года в год. В связи с этим, авторы считают, что глубину промерзания грунтов можно рассматривать как случайную величину, и для ее определения применять вероятностные методы.

Применение теории вероятностей к определению глубины промерзания грунтов основано на известной центральной предельной теореме теории вероятностей [8, 9]. Исследованиями авторов статьи установлено, что глубина промерзания грунтов подчиняется нормальному закону распределения, который вполне может быть применен для ее определения. С помощью кривых распределения (обеспеченности) можно определить глубину промерзания грунтов любой заданной обеспеченности в пределах данного периода наблюдений.

В практике ряды наблюдений (на метеорологических станциях) за глубиной промерзания грунтов бывают короткими и не дают возможности построить надежную кривую распределения (для Беларуси ряды наблюдений составляют 20–30 лет). В связи с этим, разными авторами разработаны теоретические кривые распределения, с помощью которых можно определить величину редкой повторяемости, выходящую за пределы ряда наблюдений. К ним относят: биномиальную кривую распределения С. И. Рыбкина, трехпараметрическое Г-распределение С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля и двойное. Сравнительные данные фактических глубин промерзания грунтов и теоретических, определенных по указанным кривым распределения, приведены в таблице 2.

### **Определение глубины промерзания грунтов статистическим методом**

Методика определения глубины промерзания грунтов статистическим методом заключается в обработке статистических данных по глубине промерзания грунтов, которые систематически ведутся на метеостанциях. Полученные наблюдения за глубиной промерзания на метеостанциях в обобщенном виде учитывают все факторы, влияющее на промерзание грунтов. В зависимости от наличия фактических данных о глубине промерзания может быть два случая, а, следовательно, и два разных подхода к определению глубины промерзания грунтов заданной обеспеченности [4, 10].

Первый случай – данные наблюдений за глубиной промерзания грунта имеются, то есть в данном конкретном районе проводились наблюдения за глубиной промерзания не менее чем 10 лет.

Второй случай – данные наблюдений за глубиной промерзания в данном районе отсутствуют (наиболее распространенный случай в дорожном строительстве).

Определение расчетной глубины промерзания грунтов при наличии данных многолетних наблюдений

Порядок расчета глубины промерзания грунтов при наличии многолетних данных будет следующим.

1. При наличии данных наблюдений за глубиной промерзания грунтов, проводимых на метеостанциях, составляется статистический ряд максимальных глубин промерзания грунтов за каждый год в убывающем порядке.

2. Вычисляется средняя арифметическая величина ряда, то есть средняя глубина промерзания, по формул

$$Z_{\text{ср}} = \frac{\sum Z_i}{n},$$

где  $\sum Z_i$  – суммарная глубина промерзания грунта за  $n$  лет;  
 $n$  – число лет наблюдений.

3. Определяют модульные коэффициенты для каждого года наблюдения:

$$K_i = \frac{Z_i}{Z_{\text{ср}}},$$

где  $Z_i$  – глубина промерзания грунта  $i$ -го года.

4. Определяют коэффициент вариации  $C_v$  по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^2}{n - 1}}.$$

5. Вычисляют коэффициент асимметрии  $C_s$  (если число лет наблюдений более 50) по формуле

$$C_s = \sqrt{\frac{\sum (K_i - 1)^3}{(n - 1) \cdot C_v^3}}.$$
$$C_s = 2C_v.$$

где  $u$  – действительное отклонение, то есть обратная функция  $u = \ln(-\ln F)$ , значение это приведено в таблице IX Н. В. Смирнова и Дунина-Барковского [11];

$\bar{u}_n$ ,  $s_n$  – среднее и стандартное отклонения; находятся в зависимости от числа лет наблюдений [11].

Модульный коэффициент  $k_s$  может быть определен по номограмме рис. 5, построенной авторами статьи.

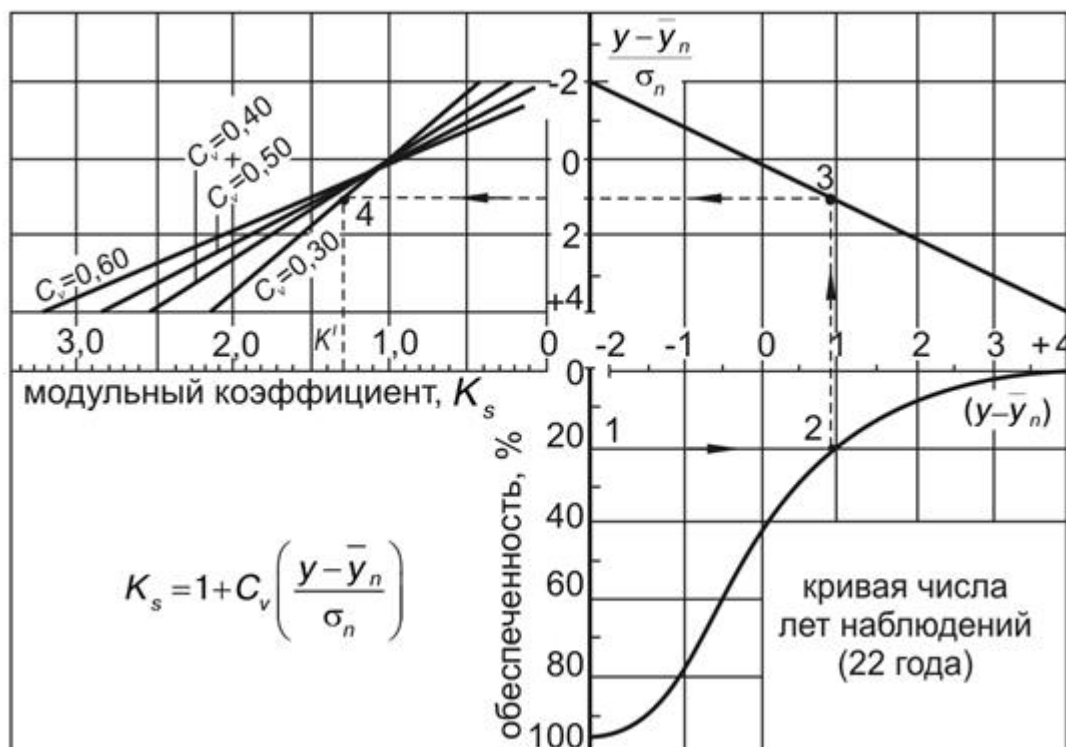


Рис. 5. Номограмма для определения модульного коэффициента  $k_s$

7. Максимальная глубина промерзания грунта под снежным покровом заданной обеспеченности определяется по формуле

$$Z = k_s \cdot Z_{cp}.$$

8. Максимальная глубина промерзания грунта земляного полотна заданной обеспеченности определяется из выражения

$$Z_{зп} = k_{п} \cdot k_s \cdot Z_{cp},$$

где  $k_{п}$  – коэффициент перехода от глубины промерзания грунта под снегом к глубине промерзания его без снега.

Заданную обеспеченность для дорог общего пользования рекомендуется принимать для дорог категорий:

- I – 1 %;
- II – 2 %;
- III – 5 %;
- IV – 10 %;
- V – 20 %.

Коэффициент перехода  $k_{п}$  – принимать соответственно для категорий:

- I –  $k_{п} = 2,00$ ;
- II –  $k_{п} = 1,90$ ;
- III –  $k_{п} = 1,80$ ;
- IV –  $k_{п} = 1,75$ ;
- V –  $k_{п} = 1,70$ .

## Определение глубины промерзания грунтов по второму способу

В основу этого метода положены карты изолиний средней максимальной глубины промерзания грунтов и коэффициента вариации (рис. 6 и 7), которые составлены для Республики Беларусь и Европейской части СНГ.

Порядок расчета следующий.

1. По карте изолиний (см. рис. 6) находят средняя максимальная глубина промерзания грунта под снегом  $Z_{ср}$ , а по карте изолиний (см. рис. 7) – коэффициент вариации  $S_v$ .

2. По формуле (7) определяют коэффициент асимметрии  $S_s$ .

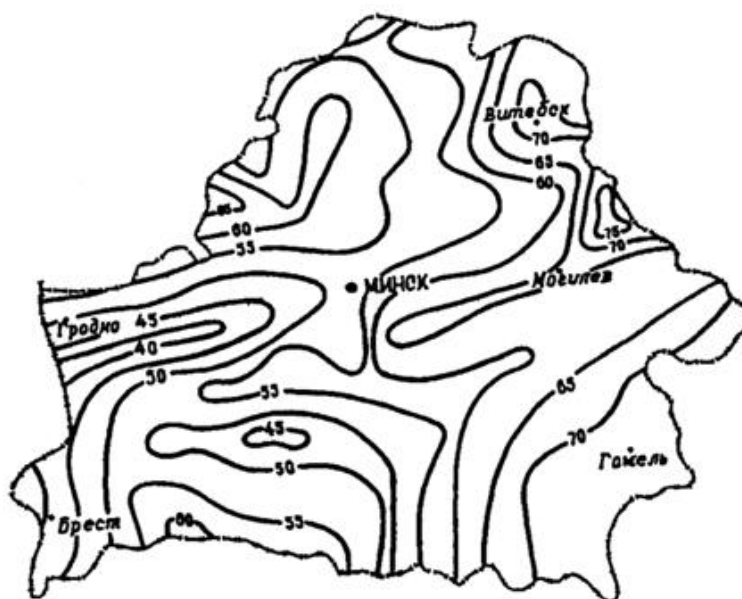


Рис. 6. Карта изолиний средней многолетней глубины промерзания грунта

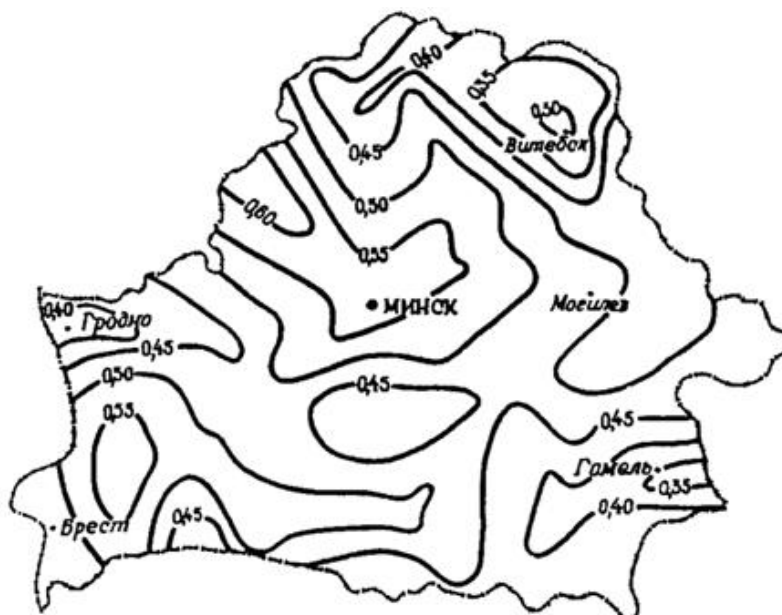


Рис. 7. Карта изолиний коэффициента вариации

3. По найденным значениям  $C_v$ ,  $C_s$  и заданному проценту обеспеченности подбирается соответствующий модульный коэффициент  $k_s$  по таблицам С. И. Рыбкина.

4. По формуле (10) определяется глубина промерзания грунта земляного полотна  $Z_{зп}$  заданной обеспеченности.

### Заключение

Промерзание грунтов – это переход грунта из одного состояния в другое с резким изменением его физико-механических свойств. Это сложный процесс, протекающий по-разному для различных видов грунтов. Все грунты по особенностям их промерзания в природных условиях подразделяются на три основные группы [6, 7]:

I – суглинки и глины;

II – супеси, мелкие и пылеватые пески;

III – средние пески, крупнозернистые и крупнообломочные грунты.

Глубина и характер промерзания грунтов зависят от температуры воздуха, высоты снежного покрова, растительности, типа грунта, степени увлажнения его и ряда других метеорологических факторов.

По данным наблюдений [6], глубина проникновения нулевой изотермы при одинаковой сумме отрицательных среднесуточных температур воздуха (635 градусо-дней) для различных типов грунтов разная: для суглинков – 135 см; мелких и пылеватых песков – 139 см; крупнообломочных грунтов – 177 см. Неодинаковы также глубина проникновения отрицательной температуры в грунт и температура замерзания грунтов. Крупнообломочные грунты замерзают при температуре, близкой к 0 оС, с образованием заметной границы между талым и мерзлым грунтами. При промерзании мелкодисперсных грунтов образуется зона промерзания (слой, в котором происходят фазовые превращения воды), разделяющая полностью промерзший и талый грунты.

Температура замерзания мелкодисперсных грунтов более низкая, чем у крупнообломочных грунтов. Это связано с тем, что мелкозернистые грунты имеют мелкие поры и повышенное количество связанной воды, которая замерзает при значительно низшей температуре, чем свободная вода.

Грунтовая вода обычно является связанной, плотность ее более единицы, содержит, как правило, растворимые соли, взвешенные частицы, испытывает большое давление со стороны заземленного воздуха, имеет меньшую степень подвижности, чем вода, находящаяся в свободном состоянии. Совокупность указанных свойств как раз и понижает температуру замерзания грунтовой влаги, а вместе с ней и самого грунта. Установлено, что все грунты замерзают при температуре ниже 0 оС. Существенное влияние на это оказывают вид



грунта, его влажность и продолжительность действия отрицательной температуры.

Например, глинистый грунт с влажностью 30 % замерзает при температуре от минус 1,0 оС до минус 2,0 оС, а песок с 10 %-ной влажностью – при температуре минус 0,5 оС. Это говорит о том, что глубина промерзания грунтов зависит не только от вида грунта, но и от его влажности. Чем выше теплопроводность грунта, тем больше глубина его промерзания. Влажность грунта в начальный момент способствует промерзанию, так как увеличивает теплопроводность, а в дальнейшем процесс замедляется. Это связано с тем, что при замерзании воды выделяется теплота льдообразования, поэтому скорость и глубина промерзания более влажного грунта будут меньше, чем грунта с меньшей влажностью.

Вопросу промерзания грунта посвящены работы многих исследователей: М. Н. Гольдштейна, В. С. Лукьянова, И. И. Леоновича, И. А. Золотаря, Н. А. Пузакова, В. М. Сиденко, А. Я. Тулаева и др. Анализируя данные исследования, а также проведенные авторами статьи, можно сделать заключение, что на глубину промерзания влияет многообразие факторов, которые целесообразно разделить на две группы.

К первой группе относятся факторы зонального характера (рельеф местности, тип грунта и др.), величина которых почти не изменяется во времени.

Во вторую группу входят факторы, существенно изменяющиеся во времени. К ним относятся: сумма отрицательной температуры воздуха, продолжительность и интенсивность действия отрицательной температуры, высота снежного покрова, залегание уровня грунтовых вод, влажность грунта и др. Указанные факторы не только трудно определяемые, но некоторые из них не поддаются учету, поэтому и результаты, полученные предлагаемыми способами, различные (таблица 2). Из таблицы 2 видно, что глубина промерзания, определенная по формулам для одной и той же местности (г. Минск), для одного и того же типа грунта, неодинакова, а колеблется в широких пределах. Разность между максимальной и минимальной глубинами промерзания составляет более 50 %. Это можно объяснить тем, что формулы учитывают действие не всех, а только некоторых факторов. Учесть существенное влияние большого числа факторов на глубину промерзания, по мнению авторов, можно, используя методы математической статистики для обработки данных натурных наблюдений.

## Литература

1. Справочная энциклопедия дорожника (том II) Ремонт и содержание автомобильных дорог. Под ред. А.П. Васильева. – М.: Транспорт, 2004г. – 208 с.

2. Васильев А.П. Состояние дорог и безопасность движения в сложных погодных условиях. - М.: Транспорт, 1976. - 224 с.

3. Борьба со снегом и гололедом на транспорте: Материалы 2-го междунар. симпозиума: Пер. с англ. -М.: Транспорт, 1986. - 216 с.

## **Водный баланс Республики Беларусь**

Кучко М.Ю.

Белорусский национальный технический университет

### **Введение**

Закономерность изменения запасов вод обычно выражается уравнением водного баланса. Водный баланс – соотношение за какой–либо промежуток времени (год, месяц, декаду и т.д.) прихода, расхода и аккумуляции (изменение запаса) воды для речного бассейна или участка территории, для озера, болота или другого исследуемого объекта. В общем случае учёту подлежат атмосферные осадки, конденсация влаги, горизонтальный перенос и отложение снега, поверхностный и подземный приток, испарение, поверхностный и подземный сток, изменение запаса влаги в почво–грунтах и др.

### **Водный баланс Республики Беларусь**

Республика Беларусь по своим природным условиям относится к средней по водообеспеченности географической зоне СНГ. В Беларуси более 10 тыс. озер и водохранилищ, общий объем воды в которых составляет около 6 млрд. м<sup>3</sup>, и 20,8 тыс. рек общей протяженностью 90,6 тыс. км. Крупные реки, длина которых более 500 км: Днепр, Западная Двина, Неман, Виляя, Припять, Сож, Березина. Густота речной сети в среднем по Беларуси составляет около 40 км/100 км<sup>2</sup>. В северо-восточной части, более возвышенной и рассеченной, она превышает 60 км/100км<sup>2</sup>, а в южной, где расположена плоская Полесская низменность, – наполовину меньше среднего показателя. Сток рек, протекающих по ее территории (для среднего по водности года), составляет 57,9 км<sup>3</sup>. Большая его часть (34,0 км<sup>3</sup>, или 59%) формируется в пределах территории Беларуси (местный сток). В средний по водности год поверхностные водные ресурсы составляют 57,9 км<sup>3</sup>, в том числе формирующиеся в пределах страны – 34 км<sup>3</sup>. В многоводные годы общий речной сток увеличивается до 92,4 км<sup>3</sup>, а в маловодные – снижается до 37,2 км<sup>3</sup> в год. Возобновляемые (естественные) ресурсы подземных вод составляют 15,9 км<sup>3</sup> в год, эксплуатационные запасы – 2,3 км<sup>3</sup> в год. Годовой