

УДК 625

И. И. Леонович¹, Н. П. Вырко², М. Н. Демидко³¹ Белорусский национальный технический университет² Белорусский государственный технологический университет³ Республиканский институт профессионального образования**СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ГЛУБИНЫ ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ**

Глубина промерзания грунтов в основном зависит от климатических, гидрологических, грунтовых и других природных условий, которые сами изменяются в широких пределах, поэтому и глубина промерзания не остается постоянной, а изменяется из года в год. Эти колебания (изменения) в значительной мере являются случайными, т. е. зависящими от большого числа переменных факторов. Учесть их в явном виде в настоящее время нет возможности.

Кроме того, неизвестны возможные колебания в будущем самих метеорологических факторов.

Определение глубины промерзания грунтов предлагается производить на основе теории вероятностей. Применение теории вероятности к определению глубины промерзания грунтов основано на известной центральной предельной теореме теории вероятностей, которая гласит, что если случайная величина представляет собой сумму (или линейную функцию) большого числа независимых одна от другой величин, то независимо от законов распределения отдельных частей слагаемых распределение суммарной величины стремится к нормальному закону (или близкому к нему).

Таким образом, центральная предельная теорема теории вероятностей применима для изучения суммарного действия многих факторов в многофакторных явлениях.

Определение глубины промерзания связано с многофакторными явлениями и процессами и зависит от суммы отрицательных температур воздуха, продолжительности и интенсивности действия отрицательной температуры, влажности и типа грунта, мощности снегового покрова, растительности, рельефа местности и др. С другой стороны, каждый из этих факторов, в свою очередь, обусловлен рядом действующих факторов, например радиационным балансом, теплообменом с воздухом, циркуляцией воздушных масс и т. д.

Ключевые слова: водно-тепловой режим, земляное полотно, пучение, уровень грунтовых вод, морозозащитный слой, номограмма, карта изолиний.

I. I. Leonovich¹, N. P. Vyrko², M. N. Demidko³¹ Belarusian National Technical University² Belarusian State Technological University³ Republican Institute for Vocational Education**STATISTICAL ESTIMATION METHOD OF THE SOIL FREEZING DEPTH**

The depth of soil freezing is largely dependent on climate, water, soil and other natural conditions, which themselves vary widely, so the depth of freezing is not constant, but varies from year to year. These fluctuations (changes) are largely random, i.e., depend on a number of variables. There is no possibility to take them into account explicitly in the present time.

In addition, possible variations of future weather factors are unknown.

Determination of the depth of soil freezing is proposed to make on the basis of probability theory. The use of probability theory to determine the depth of soil freezing is based on the well-known central limit theorem of probability theory, which states that if the random variable is the sum (or a linear function) of a large number of independent variables from one another, so regardless of the laws of the distribution of individual private terms, the distribution of total value tends to a normal distribution (or close to it).

Thus, the central limit theorem of probability theory is applicable to study of the cumulative effects of many factors in the multivariate phenomena.

Determination of the depth of freezing is due to the multifactorial phenomena and processes, and depends on the amount of negative air temperatures, duration and intensity of the negative action of temperature, humidity and soil type, snow cover thickness, vegetation, terrain and other factors. On the other hand, each of these factors is in turn caused by a number of operating factors, such as radiation balance, heat exchange with the air and circulating of air masses, etc.

Key words: water and thermal conditions, subgrade, heave, groundwater level, frost layer nomogram contour map.

Введение. Промерзание грунтов – переход грунта из одного состояния в другое, с резким изменением физико-механических свойств. Глубина промерзания грунтов является важной характеристикой условий проектирования, строительства и эксплуатации различных инженерных сооружений. От нее во многом зависят глубина заложения фундаментов зданий и других инженерных сооружений; выбор способа производства земляных работ, организация работ по добыче полезных ископаемых, многие проектные и конструктивные решения.

Процесс и глубина промерзания грунтов имеют особое значение в дорожной практике. Они во многом определяют водно-тепловую режим земляного полотна и дорожных одежд, величину морозного пучения, состояние грунтов и дорожно-строительных материалов.

С глубиной промерзания земляного полотна связаны выбор оптимальных параметров и конструкций дорожной одежды, высоты земляного полотна над уровнем грунтовых вод, место расположения теплоизолирующих прослоек, дренажирующих и морозозащитных слоев и многие другие вопросы проектирования, строительства и эксплуатации дорог [3].

На глубину промерзания грунтов влияют различные факторы: тип грунта, рельеф местности, сумма отрицательных температур воздуха, влажность грунта, толщина снежного покрова, продолжительность и интенсивность действия отрицательной температуры и другие.

Многообразие факторов и сложность их взаимодействия затрудняют разработку строгой физической и аналитической теории промерзания грунтов, а предложенные методы, эмпирические формулы базируются в основном на некоторых теплофизических и климатических характеристиках, которые являются случайными. Определение этих характеристик требует большого труда и времени. Особенно сложным является сбор исходных материалов и расчет глубины промерзания грунтов при проектировании дорог.

Поэтому бесспорным является факт, что если явления носят случайный характер, а промерзание грунтов именно такое и есть, то для решения этой задачи необходимо применять статистический метод, в основу которого нами положены данные многолетних наблюдений, проводимых на метеостанциях за глубиной промерзания. Собраны данные на 863 метеостанциях, расположенных в Европейской части нашей планеты. Полученные данные подвергались статистической разработке и анализу: обоснована кривая распределения, порядок определения коэффициента асимметрии, состав-

лены карты изолиний средних максимальных глубин промерзания (рис. 1) и карты изолиний коэффициента вариации (рис. 2). Проведен необходимый сравнительный анализ результатов расчета по статистическому методу, по формулам и другим методам, а также с данными наблюдений на опытных станциях и участках дорог.

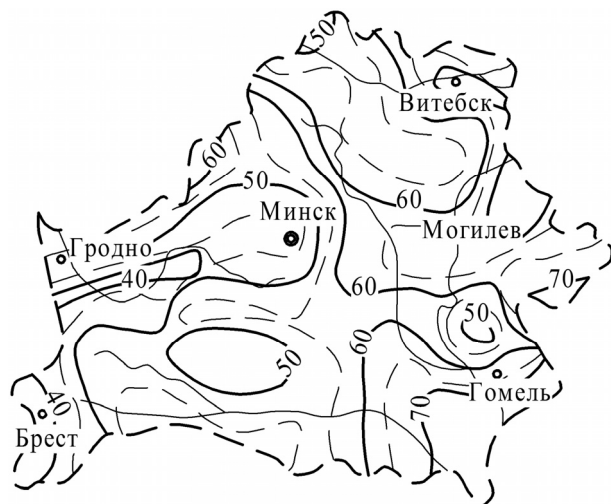


Рис. 1. Карта изолиний средних максимальных глубин промерзания

Для нужд инженерной практики многими учеными предложен ряд формул для определения глубины промерзания грунтов, которые базируются в основном на некоторых теплофизических и климатических характеристиках.

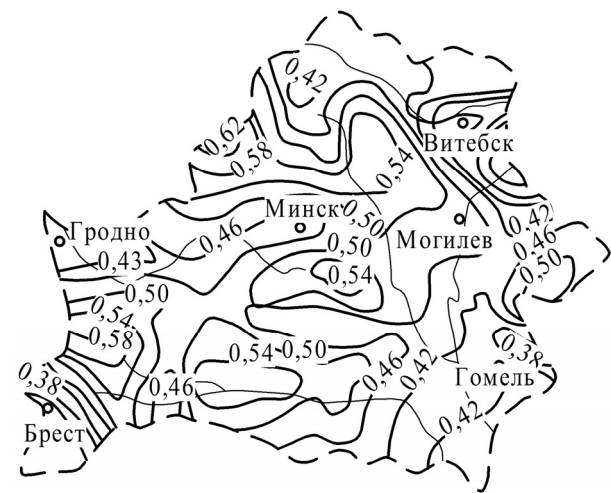


Рис. 2. Карта изолиний коэффициента вариации

Первой теоретической формулой для определения глубины промерзания грунтов является формула И. Стефана:

$$z = \sqrt{\frac{2\lambda T_n}{\rho W}}. \quad (1)$$

Приведем формулы:

Н. В. Стаценко:

$$z = k\sqrt{\sum \theta_c} - 2S, \quad (2)$$

где k – эмпирический коэффициент; S – средняя мощность снегового покрова, см;

П. И. Колоскова:

$$z = k \sqrt{\frac{\sum T_m}{\sqrt{T_2 W_y}}}, \quad (3)$$

где $\sum T_m$ – сумма среднемесячных отрицательных температур воздуха, °С; T_2 – среднегодовая температура воздуха, °С; W_y – климатический показатель увлажненности, равный отношению годовой суммы осадков к сумме среднемесячных дефицитов влажности;

Г. И. Лапкина:

$$z = 4,9\sqrt{\sum \theta_c}; \quad (4)$$

Н. А. Пузакова:

$$z = \sqrt{2\alpha_0 T}, \quad (5)$$

где α_0 – климатический коэффициент (для Беларуси равен 50).

Таким образом, анализируя приведенные формулы (1)–(5) видим, что на глубину промерзания грунтов влияют многообразные факторы. Наиболее существенными из них являются температура воздуха (отрицательная), интенсивность морозов, тип грунта, его физико-механические и теплофизические свойства, такие как влажность, высота снежного покрова, растительность, расположение уровня грунтовых вод (глубина), интенсивность ветра, миграция влаги и др.

Указанные факторы не только трудно определить, но и некоторые из них не поддаются учету. Например, профессор Н. А. Пузаков указывает, что в настоящее время точно определить ход изменения температуры грунта по глубине и во времени еще невозможно. Из-за того, что нельзя учесть все условия, сопровождающие промерзание, а приведенные формулы выведены для конкретных районов и условий.

В формуле В. Ф. Утенкова основным фактором, определяющим глубину промерзания оголенных от снежного покрова глинистых грунтов, учитывается сумма отрицательных температур воздуха. По данной формуле максимальная температура, при которой будет максимальная глубина промерзания равна 2000°С, а потом уменьшается, что противоречит действительности.

Формула Г. И. Лапкина учитывает только сумму среднесуточных отрицательных температур воздуха, и ее можно применять только в том случае, когда грунтовые воды залегают глубоко и не попадают в зону промерзания.

Формула Н. А. Пузакова довольно проста, но для определения глубины промерзания необходимы многолетние наблюдения.

Имеются и другие формулы многих авторов: Н. С. Темникова, Р. М. Меджитова, Л. М. Фоминой и др.

Анализируя приведенные выше формулы, можно отметить, что они учитывают отдельные факторы, влияющие на глубину промерзания грунтов, и не учитывают многообразие факторов, которые влияют на глубину промерзания грунтов. Определение данных характеристик (факторов) требует большого труда и времени. Особенно сложным представляется сбор исходных материалов и расчет глубины промерзания грунта при проектировании дорог, по трассе которых происходит изменение гидрологических и климатических условий.

С учетом изложенного, нами разработаны два способа определения глубины промерзания грунтов: 1-й способ, когда данные наблюдений за глубиной промерзания грунтов в данном районе имеются не менее 10 лет и 2-й – когда данные наблюдений за глубиной промерзания грунтов в данном районе отсутствуют (наиболее распространенный случай).

Основная часть. В методике определения глубины промерзания грунтов по первому способу, т. е. когда данные наблюдений о глубине промерзания грунта имеются, весь расчет сводится к определению средней арифметической величины статистического ряда, составленного из максимальных значений глубины промерзания, коэффициентов вариации, асимметрии, модульного коэффициента. Порядок определения глубины промерзания грунта следующий.

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

2. Вычисляется средняя глубина промерзания грунта:

$$z_{cp} = \frac{\sum z_i}{n}, \quad (6)$$

где $\sum z_i$ – суммарная глубина промерзания грунта за n лет наблюдений.

3. Определяют модульные коэффициенты для каждого года наблюдений:

$$k_s = \frac{z_i}{z_{cp}} \quad (7)$$

4. Определяют коэффициент вариации по формуле

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum (k_s - 1)^2}{n - 1}} \quad (8)$$

5. Определяют коэффициент асимметрии по формуле

$$C_v = \frac{\sum (k_s - 1)^3}{(n - 1)C_v^3} \quad (9)$$

если число лет наблюдений более 50 лет, а если меньше, то $C_s = 2C_v$.

6. По вычисленным коэффициентам вариации и асимметрии и заданному проценту обеспеченности по таблицам С. И. Рыбкина (биномиальная кривая распределения при $C_s = 2C_v$) определяется модульный коэффициент.

7. По известным модульному коэффициенту k_s , средней максимальной глубине промерзания и с учетом переходного коэффициента k_n определяют максимальную глубину промерзания грунта:

$$z = k_s k_n z_{cp} \quad (10)$$

где k_n – переходный коэффициент от глубины промерзания грунта без снега к глубине промерзания грунта под снегом (равный 1,7–2,0) [1].

Надежность полученного значения z зависит от числа лет наблюдений за глубиной промерзания грунта. Чем больше лет ведется наблюдение, тем точнее получают значение z . Для расчета необходимо иметь данные наблюдений не менее чем за 10 лет.

Методика определения глубины промерзания по второму способу (данные о наблюдении за глубиной промерзания грунта отсутствуют). Все расчеты сводятся к определению глубины промерзания грунтов (z_{cp}) и коэффициента вариации C_v по картам изолиний, составленным нами (авторами). Карты изолиний средней максимальной глубины промерзания грунта и коэффициента вариации представлены на рис. 1 и рис. 2 соответственно.

Для составления карт изолиний средней максимальной глубины промерзания грунтов z_{cp} для условий Беларуси были обработаны данные наблюдений за глубиной промерзания грунтов 26 метеостанций в течение 16–22 лет.

Порядок определения глубины промерзания грунтов следующий.

1. По карте изолиний (рис. 1) находят среднюю максимальную глубину промерзания грунта z_{cp} для заданного района.

2. По карте изолиний (рис. 2) определяют (находят) коэффициент вариации C_v .

3. Вычисляют коэффициент асимметрии по формуле $C_s = 2C_v$.

4. По значениям коэффициента вариации C_v и асимметрии C_s по таблицам С. И. Рыбкина при $C_s = 2C_v$ находят модульный коэффициент k_s или по номограмме, разработанной нами (рис. 3).

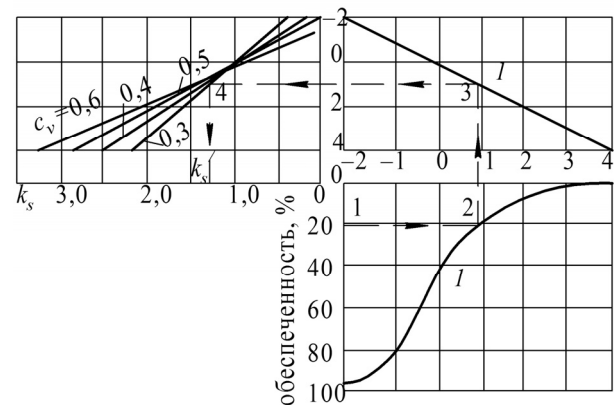


Рис. 3. Номограмма для определения модульного коэффициента k_s :
1 – кривая числа лет наблюдений (22 года);
 C_v – коэффициент вариации

5. По формуле (10) вычисляют максимальную глубину промерзания грунта заданной обеспеченности.

Процент обеспеченности по рекомендации профессоров А. Я. Тулаева, В. М. Сиденко [2, 3, 4] для всех категорий автомобильных дорог, за исключением временных, следует принимать равным 2. Нами же рекомендуется процент обеспеченности принимать для дорог I, II и III категорий равным 2, а для IV и V категорий – 5 и для промышленных дорог и дорог временного действия – 10 [1].

В соответствии с коэффициентом обеспеченности следует принимать и переходный коэффициент k_n от грунта поля к грунтам земляного полотна, для супесчаных грунтов при коэффициенте перехода $k_n = 1,75$ при 2%-ной обеспеченности, т. е. $P = 2\%$; $k_n = 1,82$ при $P = 5\%$ и $k_n = 1,92$ при $P = 10\%$.

Закключение. Разработанный нами статистический метод является научно обоснованным и удобным (простым) для практического применения в инженерной, особенно дорожной, практике. По сравнению с аналитическими и эмпирическими методами, которые часто носят частный характер. Предложенный авторами метод имеет ряд преимуществ и рекомендуется к внедрению.

Литература

1. Леонович И. И., Вырко Н. П. Механика земляного полотна. Минск: Наука и техника, 1975. 288 с.
2. Пузаков Н. А. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М.: Автотрансиздат, 1960. 168 с.
3. Сиденко В. М. Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна. М.: Автотрансиздат, 1962. 116 с.
4. Тулаев А. Я. Регулирование водного режима земляного полотна на автомобильных дорогах. М.: Дориздат, 1950.

References

1. Leonovich I. I., Vyrko N. P. *Mehanika zemlyanogo polotna* [Mechanics subgrade]. Minsk: Nauka i tehnika Publ., 1975. 288 p.
2. Puzakov N. A. *Vodno-teplovoy rezhim zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog* [Water-thermal regime of the subgrade of highways]. Moscow: Avtotransizdat Publ., 1960. 168 p.
3. Sidenko V. M. *Raschet i regulirovanie vodno-teplovogo rezhima dorozhnykh odezhd i zemlyanogo polotna* [Calculation and control of water and thermal regime of road pavement and subgrade]. Moscow: Avtotransizdat Publ., 1962. 116 p.
4. Tulaev A. Ya. *Regulirovanie vodnogo rezhima zemlyanogo polotna na avtomobilnykh dorogakh* [Regulation of the water regime of the subgrade on the roads]. Moscow: Dorizdat Publ., 1950.

Информация об авторах

Леонович Иван Иосифович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог». Белорусский национальный технический университет (220014, г. Минск, пр-т Независимости, 150, Республика Беларусь).

Вырко Николай Павлович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Демидко Марина Николаевна – кандидат педагогических наук, доцент, заведующая кафедрой общей и профессиональной педагогики. Республиканский институт профессионального образования (220004, г. Минск, ул. К. Либкнехта, 32, Республика Беларусь).

Information about the authors

Leonovich Ivan Iosifovich – D. Sc. Engineering, professor, professor, Department of Construction and Operation of Roads. Belarusian National Technical University (150, Nezavisimosti Ave., 220014, Minsk, Republic of Belarus).

Vyrko Nikolay Pavlovich – D. Sc. Engineering, professor, professor, Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Demidko Marina Nikolaevna – Ph. D. Pedagogic, assistant professor, head of Department of General and Vocational Pedagogy. Republican Institute for Vocational Education (32, Libknehta K. str., 220004, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 20.02.2015