

УДК 625.7/8

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.162

ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТУ НА УЩІЛЬНЕННЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗА УМОВ ВІД'ЄМНИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ

Фоменко О. О.¹, Сєдов А. В.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Здійснено аналіз теплообмінних процесів у ґрунтових шарах, які впливають на ущільнення земляного полотна в умовах від'ємних температур. У випадку зниження температури ґрунту зростає структурний опір ґрунтової системи діям ущільнення. За час проведення земляних робіт за умов зниження температури повітря виникають ускладнення щодо ущільнення ґрунту, що містить мерзлі грудки. Досягнення необхідної щільності ґрунтів у таких випадках залежить від температури навколишнього середовища, величини і виду навантажень ущільнення.

Ключові слова: від'ємна температура повітря, земляне полотно, теплообмінні процеси в ґрунтових шарах, вологість, ущільнення.

Вступ

У зв'язку з нарощуванням річних обсягів і темпів дорожнього будівництва значна увага повинна бути приділена збільшенню тривалості будівельного періоду з переходом за певних умов на цілорічне будівництво автомобільних доріг. Обмежені строки здійснення технологічних операцій із зведення земляного полотна за умов від'ємних температур потребує застосування нових прогресивних технологій роботи із ґрунтом.

Виконання земляних робіт у зимовий період здійснюється з урахуванням складу і стану ґрунту, температури повітря, наявності засобів механізації.

Аналіз публікацій

Актуальність таких робіт останніми роками зросла у зв'язку з поширенням реконструкцій та будівництвом нових автомобільних доріг в Україні. Цілорічне будівництво автомобільних доріг дозволяє:

- забезпечити роботою дорожньо-будівельні організації в умовах ринкової економіки;
- підвищити ритмічність дорожньо-будівельного виробництва;
- збільшити річну продуктивність дорожньо-будівельних машин;
- зменшити плінність робочих кадрів і тим самим закріпити їх в організації;
- забезпечити дострокове введення дороги в експлуатацію [1–3].

Для спорудження насипів у зимовий період можна використовувати без обмежень скельні, великоуламкові ґрунти та непилуваті піски. Для цього процесу потрібно викорис-

товувати тільки талий ґрунт. Ущільнення ґрунтів необхідно здійснювати до їх замерзання [4].

Визначення мети й завдань

Незважаючи на накопичений досвід проведення дорожньо-будівельних робіт у зимовий період, перехід на цілорічне будівництво автомобільних доріг уповільнюється з декількох причин. Так, традиційно вважалося, що дорожньо-будівельні роботи належать до сезонних, тому їх проведення планувалося на теплий період року, а в інші періоди часу здійснювалася заготівля дорожньо-будівельних матеріалів і ремонт машин. Подолати цей стереотип особливо важко, оскільки проведення робіт у зимовий період ускладнюється, а ефективність цього процесу у деяких випадках є надзвичайно низькою. Ще однією перешкодою до ведення зимових робіт є недотримання технології, що призводить до руйнування земляного полотна і дорожнього одягу. Основною ж причиною є відсутність надійних методів проведення окремих видів дорожньо-будівельних робіт у зимовий період, розроблених на науковій основі. Проведення земляних робіт у зимовий період здійснюється з урахуванням складу і стану ґрунту, температури повітря, наявності засобів механізації. Під час зведення земляного полотна автомобільних доріг в умовах від'ємних температур найвідповідальнішою операцією, що визначає формування, а згодом і поведінку всієї дорожньої конструкції в період експлуатації, є ущільнення [1–3]. У випадку зниження температури ґрунту з переходом її в негативні значення

зростає структурний опір ґрунтової системи ущільнювальним діям. Досягнення необхідної щільності ґрунтів за цих умов залежить від температури навколишнього середовища, величини і виду ущільнюючих навантажень.

Дослідження впливу промерзання тонких ґрунтових шарів за умов їх ущільнення в насипах

Укладання ґрунтів в тіло насипу в зимовий період зазвичай здійснюється масованими об'ємами безперервно протягом доби з метою збереження тепла і швидкого ущільнення ґрунтового масиву до необхідної щільності в талому стані. Тривалість циклу «розроблення-транспортування-ущільнення» ґрунту визначається за умови завершення всіх операцій до початку замерзання ґрунту.

У разі зниження температури повітря до від'ємних значень вода у складі ґрунту замерзає і поступово перетворюється на лід, проте практично за будь-якої від'ємної температури в ґрунті залишається деяка кількість незамерзлої вологи, яка впливає на основні фізико-механічні властивості ґрунтів. Модуль пружності, швидкість пластичних деформацій, коефіцієнт в'язкості змінюються залежно від вмісту в них незамерзлої води [1].

Коли відомо, що на ділянці дороги будуть здійснюватись земляні роботи в зимовий період, намагаються оберігати ґрунти від промерзання. Якщо ж ґрунт промерз на якусь глибину, розроблення ґрунтів можливо здійснити такими способами:

- розроблення мерзлих ґрунтів безпосередньо екскаваторами без попередньої підготовки. Здійснюється за умов невеликих глибин промерзання;

- відтавання мерзлих ґрунтів з доведенням їх температури до позитивної. Здійснюється на поверхні (поверхнєве відтавання) або вздовж усієї глибини шару (глибинне відтавання);

- розпушування мерзлих ґрунтів. Здійснюється вибуховим чи механізованим способами або вручну залежно від обсягу робіт, глибини промерзання, групи ґрунту та інших умов;

- розроблення мерзлих ґрунтів спеціальними машинами і обладнанням.

Під час зведення земляного полотна автомобільних доріг в умовах від'ємних температур повітря найбільш відповідальною операцією, що визначає формування, а згодом і

поведінку всієї дорожньої конструкції в період експлуатації, є ущільнення.

Дослідження впливу промерзання тонких ґрунтових шарів у разі їх ущільнення в насипах за умов знижених і від'ємних температур [1] дозволили уточнити час циклу і збільшити його тривалість за рахунок допуску промерзання шарів на незначну глибину. Це стало можливим завдяки здійсненню циклу теоретичних і експериментальних досліджень з ущільнення ґрунтів із урахуванням їх промерзання за різних температур повітря. У цьому випадку як критична приймалася температура ґрунту $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$, за якою вода в ґрунті ще знаходиться в незамерзломому стані.

Аналіз теплообмінних процесів у ґрунтових шарах під час відсіпання земляного полотна продемонстрував, що термодинамічні характеристики цієї системи визначаються такими особливостями: зміною температури в конкретний період часу ($-2\text{ }^{\circ}\text{C} < t < +10\text{ }^{\circ}\text{C}$); діапазоном зміни вологості ($W_{\text{мг}} < W < W_{\text{пв}}$, де $W_{\text{мг}}$ – гігроскопічна вологоємність, $W_{\text{пв}}$ – повна вологомісткість); двофазною міграцією вологи (рідка фаза + водяна пара); потенціалом вологи.

Земляне полотно відсіпляється тонкими шарами, товщиною 0,2-0,4 м, і ущільнюється за оптимальною вологістю до необхідної щільності [2]. Під час проведення робіт виникає необхідність знати розподіл за товщиною шару вологості та температури, а також швидкість промерзання ґрунту. Вирішити це завдання можна на основі аналізу зміни температури шару за глибиною від часу охолодження (рис. 1).

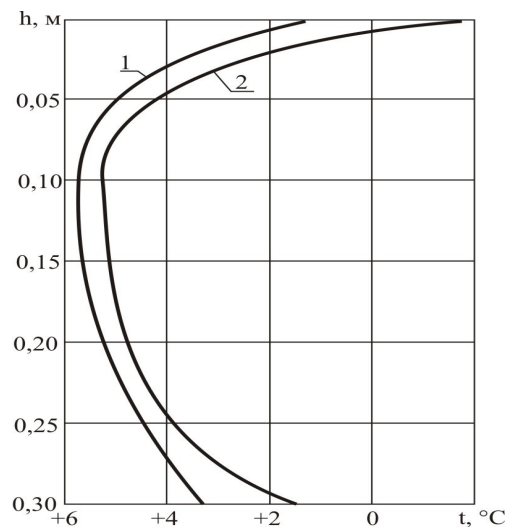


Рис. 1. Залежність зміни температури шару земляного полотна за глибиною від часу охолодження

З точки зору забезпечення необхідної якості земляного полотна, найбільш важливим є завершення процесу ущільнення, коли формується структура ґрунту [3]. Для цього процесу характерними є такі обставини, на яких повинні базуватися розрахунки технології: під час ущільнення відбувається поступове промерзання ґрунтів і в верхній частині утворюється кірка мерзлого ґрунту, яка зменшує ущільнювальну дію котків. Товщина мерзлої кірки є максимальною у кінці ущільнення. Мерзла основа талого шару ґрунту, що ущільнюється, практично не стискається, оскільки модуль пружності мерзлого ґрунту на один-два вище, ніж модуль пружності талого. Наявність мерзлої основи дещо збільшує ущільнювальну дію котків, особливо в нижній частині шару.

На підставі оброблення теоретичних і експериментальних даних запропоновано нормування допустимої глибини промерзання шару, що ущільнюється (табл.1).

Таблиця 1 – Допустима глибина промерзання шару ґрунту залежно від типу котка

Маса котка, т	Допустима глибина промерзання шару ґрунту, $h_{пз}$, см	Товщина шару, що ущільнюється, з урахуванням $h_{пз}$, см
25	2–3	20–25
50	3–5	25–40

За час проведення земляних робіт закладності, що пов'язані з ущільненням ґрунту, який містить мерзлі грудки [2]. Модуль пружності мерзлого ґрунту вищий, ніж талого, тому грудки мерзлого ґрунту не ущільнюються, що призводить до збільшення міцності і в'язкості шару і зменшення його щільності. Після відтавання в теплий період року міцність і щільність грудок мерзлого ґрунту є меншою, ніж талого, а отже, це знижує міцність земляного полотна, тому необхідно здійснити доущільнення ґрунтів земляного полотна в теплий період року.

Реологічна модель ущільнення ґрунтових шарів з мерзлим ґрунтом наведена на рис. 2.

Еквівалентний модуль пружності шару, що ущільнюється, визначається за формулою (1):

$$E_{\text{екв.}} = \frac{E_T E_M}{E_M V E_M + V E_T}, \quad (1)$$

де E_T , E_M – модулі пружності талого та мерзлого ґрунтів; V – вміст мерзлого ґрунту в шарі, що ущільнюється, в долях одиниці.

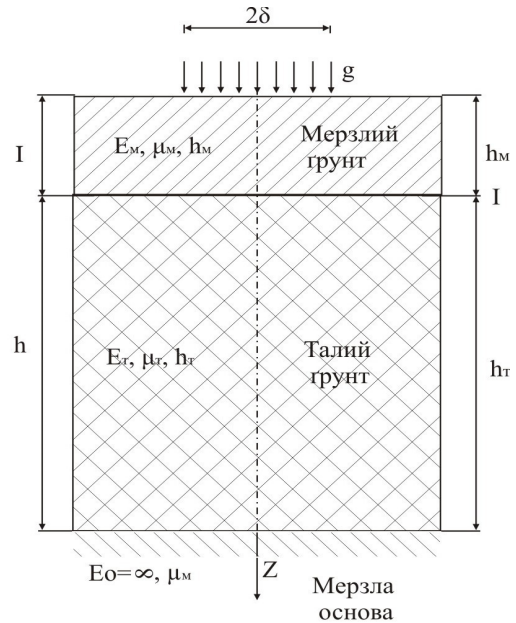


Рис. 2. Реологічна модель ущільнення ґрунтових шарів з мерзлимо ґрунтом

Експериментальна перевірка формули підтвердила її працездатність для випадку $V < 0,3$ і шарів ґрунту завдовжки 0,2–0,4 м.

Залежність модуля пружності ґрунту від вмісту мерзлих грудок наведена в табл. 2.

Таблиця 2 – Залежність модуля пружності ґрунту від вмісту мерзлих грудок

Вміст включень мерзлого ґрунту, %	Модуль пружності ґрунту, $E_{\text{екв.}}$, МПа			
	природної щільності	за умов коефіцієнта ущільнення $K_y = 1$	експериментальний з урахуванням включень	За формулою 1
10	17,0	25,0	23,8	23,0
20			22,5	22,8
30			21,4	21,9
10	18,5	25,0	24,1	24,1
20			23,0	23,4
30			22,1	22,7
10	21,0	25,0	24,4	24,4
20			23,6	24,0
30			22,0	23,5

Охолодження ґрунтів, що нижче 0°C , супроводжується поступовим замерзанням ґрунтової води і переходом ґрунтів в тугопластичний і каменеподібний стан.

Між фазовим складом води і фізико-механічними властивостями ґрунту існує тісний зв'язок. Це дозволяє шляхом зміни фазового складу ґрунтової води зберегти плас-

тичні властивості ґрунту за від'ємної температури.

Як зазначалося вище, значний вплив на міцність і стійкість земляного полотна має вміст мерзлих грудок в шарі, що ущільнюється. Встановлено [5], що ґрунти, що містять мерзлі грудки і мають вологість, близьку до оптимальної, промерзаючи в умовах закритої системи, після відтавання знижують свою здатність чинити опір зовнішнім діям до 10–45 % порівняно з ґрунтами, що не містять мерзлих включень.

Під час проведення лабораторних і польових досліджень [5] встановлено вплив мерзлих включень на коефіцієнт ущільнення (табл. 3).

Таблиця 3 – Вплив мерзлих включень на коефіцієнт ущільнення

Ґрунт	Вологість	Коефіцієнт ущільнення ґрунту за умов різного вмісту мерзлих включень, %		
		0–20	30	40
Супісок легкий	0,9	0,98–0,96	0,95	0,93
	1,0	1,00–0,97	0,95	0,94
	1,1	0,99–0,96	0,94	0,92
Суглинок пилуватий	0,9	0,98–0,97	0,95	0,93
	1,0	1,00–0,98	0,85	0,93
	1,1	0,99–0,97	0,96	0,94
Пісок дрібний пилуватий	0,9	0,98	0,95	0,91

Висновки

Дослідивши технології ущільнення земляного полотна за умов від'ємних температур і наявного виробничого досвіду, можна зробити такі висновки:

1) під час ущільнення ґрунту в діапазоні температур, що є нижчими, ніж гранична температура перехідного стану, потрібно значне збільшення ущільнювальних навантажень;

2) процес зведення земляного полотна взимку можливий тільки за умов використання талого ґрунту, в якому мерзлі грудки, що мають максимальний розмір, який дорівнює 100–150 мм, становить не більше 5–10 % за умов ущільнення насипу пневмоколісними і вібраційними котками та 200–250 мм, тобто не більше 20–25 %, за умов ущільнення решітчастими котками і машинами ударного типу;

3) аналіз складу дорожньо-будівельних машин з урахуванням наведених вимог демонструє, що високоякісне земляне полотно можливо побудувати тільки за температури повітря до – 10 °С та лише в декількох випадках за температури до – 15–20 °С.

Література

1. Батраков О. Т., Стороженко М. С. Уплотнение ґрунтов земляного полотна автомобильных дорог при пониженных температурах. *Изв. Вуз. Строительство и архитектура*, 1977. №5. С. 128–131.
2. Батраков О. Т., Стороженко М. С. Особенности уплотнения ґрунтов при пониженных температурах. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. Будівельник*. Киев, 1977. Вип. 20. С. 42–44.
3. Броніцкий Е. И. *Возведение земляного полотна зимой. Автомобильные дороги*, 1979. №1. С. 8–9.
4. ДБН В 2.3-4-2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. [Чинний від 2016-01-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 91 с.
5. Миндеев В. В. Исследование влияния мерзлых включений на степень уплотнения ґрунтов. В сб.: *Совершенствование методов и средств строительства земляного полотна автомобильных дорог в зимних условиях. Труды СоюздорНИИ*. М., 1987. С. 17–22.

References

1. Batrakov O. T., Storozhenko M. S. Uplotnenie ґrunтов zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog pri ponizhennyh temperaturah [Compaction of soil subgrade road at low temperatures]. *Izv. Vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura*, 1977. №5. Pp. 128–131.
2. Batrakov O. T., Storozhenko M. S. Osobennosti uplotnenija ґrunтов pri ponizhennyh temperaturah [Features of soil compaction at low temperatures]. *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo. Budivel'nik*. Kiev, 1977. Vip. 20. Pp. 42–44.
3. Bronickij E. I. *Vozvedenie zemljanogo polotna zimoj* [Subgrade construction in winter]. *Avtomobil'nye dorogi*, 1979. №1. – p. 8–9.
4. DBN V 2.3-4-2015. Sporudi transportu. Avtomobil'ni dorogi. [Equip the transport. Car roads]. Vid. ofic. Kiiv: Minregionbud Ukraini, 2015. – 91 p.
5. Mindeev V. V. Issledovanie vlijaniya merzlyh vkljuchenij na stepen' uplotnenija ґrunтов [Study of the influence of frozen inclusions on the degree of compaction of soils]. V sb.: *Sover-shenstvovanie metodov i sredstv stroitel'stva zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog v zimnih uslovijah. Trudy SojuzdorNII*. M., 1987. P. 17–22.

Фоменко Олена Олександрівна¹, асистент каф. будівництва та експлуатації автомобільних доріг, lensanfom0407@gmail.com, тел. +38 050-107-08-02,

Седов Андрій Віталійович¹, к.т.н., доц. будівництва та експлуатації автомобільних доріг, тел. +38 050-301-14-75, avs.1708@ukr.net

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Влияние свойств грунта на уплотнение земляного полотна при отрицательных температурах воздуха

Аннотация. Выполнен анализ теплообменных процессов в грунтовых слоях, которые влияют на уплотнение земляного полотна в условиях отрицательных температур. При понижении температуры грунта растет структурное сопротивление грунтовой системы уплотняющим действиям. За время проведения земляных работ при пониженных температурах воздуха возникает ряд трудностей уплотнения грунта, содержащего мерзлые комья. Достижение необходимой плотности грунтов при этом зависит от температуры окружающей среды, величины и характера уплотняющих нагрузок.

Ключевые слова: отрицательная температура воздуха, земляное полотно, теплообменные процессы в грунтовых слоях, влажность, уплотнение.

Фоменко Елена Александровна¹, ассистент каф. строительства и эксплуатации автомобильных дорог, тел. +38 050-107-08-02, lensanfom0407@gmail.com,

Седов Андрей Витальевич¹, к.т.н., доц. каф. строительства и эксплуатации автомобильных дорог, тел. +38 050-301-14-75, avs.1708@ukr.net,

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

The effect of soil properties on the compaction of the subgrade at negative air temperatures

Abstract. Problem. In connection with the increase in annual volumes and rates of road construction, the increase in the length of the construction period with the transition under certain conditions to year-round

construction of roads deserves special attention. The limited time for technological operations on the construction of the subgrade at negative temperatures required the use of new, advanced technologies for working with soil. **Goal.** When constructing the roadbed of roads under negative temperatures, the responsible operation which determines the formation, and then the behavior of the entire road structure during operation, is compaction. The aim of the work is to study the effect of freezing of thin soil layers during compaction in embankments at low temperatures. **Methodology.** Analysis of heat transfer processes in the soil layers during the filling of the subgrade which are determined by the following features: temperature changes in a given period of time; humidity variation range; biphasic moisture migration (liquid phase + water vapor) moisture potential. **Results.** On the basis of theoretical and experimental data processing, the normalization of the permissible freezing depth of the sealing layer is proposed. As a result of studies the influence of frozen inclusions on the coefficient of compaction is established. **Practical value.** To erect a subgrade in winter is only possible when using thawed soil, in which frozen breasts with a maximum size of 100–150 mm are no more than 5–10 % when compaction of the embankment with pneumatic wheels and vibratory rollers and 200–250 mm no more than 20–25 % when compaction with trellis rollers and shock machines. Analysis of road-building machines, taking into account the above requirements, proves that a high-quality subgrade can be built only at air temperatures up to -10°C and is carried out in several cases at temperatures up to -15 – -20°C .

Key words: negative air temperature, subgrade, heat exchange processes in the soil layers, humidity, compaction.

Fomenko Olena¹, Lecturer at the Department of Road Construction and Maintenance, tel. +38 050-107-08-02, lensanfom0407@gmail.com, **Siedov Andrii¹**, Ph.D., Assoc. Prof. Department of Road Construction and Maintenance, tel. +38 050-301-14-75, avs.1708@ukr.net,

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.