

МОЖЛИВІСТЬ ПІДВИЩЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Катукова В.М.

Державний дорожній науково-дослідний інститут ім. М.П. Шульгіна

В сучасних умовах можливості ущільнювальної техніки дозволяють досягти при ущільненні високих показників щільності ґрунтів земляного полотна. Тому останнім часом проводяться численні дослідження, направлені на більш повне використання потенційних можливостей ґрунтів за рахунок ущільнення їх до більш високих значень щільності [3, 7-10]. Якщо чинні норми до щільності [5] передбачають ущільнення ґрунту в активній зоні до мінімального коефіцієнта ущільнення 0,95-1,0, то ущільнення ґрунту до щільності, що перевищує 1,0-1,05, може суттєво підвищити його деформаційні і міцнісні властивості та однорідність. У роботі [8] показано, що у разі підвищення коефіцієнта ущільнення до 1,03-1,05 розрахункову вологість слід зменшити на 5-10 %, що відповідно поведе за собою збільшення модуля пружності.

В нормативній документації до питання переущільнення ґрунтів підійшли дуже обережно. В ДБН В.2.3-4 [5] в п. 20.2.14 вказано: «Зону контакту присипної частини насипу з існуючою необхідно ущільнювати до коефіцієнта ущільнення $K_v \geq 1,0$ ». Згідно з п.6.17 СНиП 2.05.02 [2] у IV і V зонах «при проектуванні земляного полотна следует рассматривать вопрос о повышении плотности грунтов по сравнению с нормативными значениями при соответствующем технико-экономическом обосновании и при условии защиты связанного набухающего грунта от доувлажнения в процессе эксплуатации. Для V зоны следует предусматривать повышение степени уплотнения до $K_v = 1,0-1,05$ верхней части рабочего слоя 0,2-0,3 м. То же следует предусматривать на дорогах I категории во всех дорожно-климатических зонах». З літературних джерел та з практичного досвіду відомо, що для отримання найбільш щільної структури ґрунту необхідно, щоб вологість була такою, при якій об'єм затиснутого повітря знаходиться в межах 4...6 %, що відповідає повному заповненню ґрунтових пор гідратними оболонками. Саме при такому об'ємі повітря ґрунт характеризується мінімальними набуханням, морозним набряканням, максимальним модулем пружності і опором зсуву.

Разом з тим ущільнення ґрунту до високої щільності потребує значного збільшення роботи ґрунтоущільнювальних машин. В останні роки парк ущільнювальних засобів поповнився новими сучасними котками, що дозволяють суттєво покращити ступінь ущільнення ґрунтів земляного полотна. Зокрема, створюється нове покоління «інтелектуальних котків», які можуть в автоматичному режимі адаптувати параметри впливу на ґрунт. Особливістю ущільнення ґрунтів та інших матеріалів є те, що в процесі ущільнення змінюється їх несна здатність. Не вирішеним до кінця питанням є визначення раціональних параметрів при роботі в конкретних ґрунтових і технологічних умовах [1].

В ДерждорНДІ під керівництвом М.Л. Міщенко проводились дослідження з уточнення оптимальних параметрів ущільнення глинистих ґрунтів підвищеної щільності, які забезпечують стабільну роботу шарів земляного полотна в активній зоні [4,6]. Метою проведених досліджень було уточнення оптимальних параметрів ущільнення глинистих ґрунтів при підвищених значеннях щільності в лабораторних умовах, апробація результатів досліджень в умовах дослідного будівництва, обстеження дослідних ділянок у розрахунковий період і в період стабілізації, нагляд та спостереження за експлуатаційним станом дослідних ділянок з підвищеними значеннями щільності верхніх шарів земляного полотна.

З літературних джерел відомо, що стабільний ступінь ущільнення залежить не тільки від прикладеної роботи ущільнення та її інтенсивності (імпульс сили, контактний тиск, тиск у шинах, амплітуда і частота вібрації), але й від фізико-механічних властивостей ґрунту і рівня природно-кліматичних впливів, які зазнає ґрунт при експлуатації насипу.

Для дослідження було вибрано ґрунт – суглинок важкий, відібраний з місця дослідного будівництва в Миколаївській області. Число пластичності $I_p = W_L - W_p = 30,0 - 16,0 = 14$. Оптимальна вологість ґрунту $W_{opt} = 18,0\%$, максимальна щільність сухого ґрунту $\gamma_d = 1,768 \text{ г/см}^3$, $\gamma_s = 2,73 \text{ г/см}^3$.

За результатами моделювання процесів водонасичення суглинку в лабораторних умовах в діапазоні, що відповідає коефіцієнтам ущільнення $K_y = 1,15 - 0,95$ [4], визначили розрахункові характеристики ґрунту. Зразки витримували у воді на приладі одновісного стиску на протязі місяця. Випробування припиняли, коли вертикальна деформація за дві доби не перевищувала 0,01 мм. На рис. 1 видно, що в діапазоні $K_y = 1,0-1,07$ спостерігається певна стабілізація вертикальних деформацій набухання.



Рис. 1

Визначали розрахункові параметри ґрунту, модуль пружності ґрунту – на важільному пресі у циліндрі діаметром 100 мм, штапом діаметром 50 мм; кут внутрішнього тертя (умовний) та питоме зчеплення – за ГОСТ 12448 [11]. За результатами лабораторних досліджень найбільш стабільні властивості мав ґрунт з коефіцієнтами ущільнення в діапазоні $K_y=0,98$, $K_y=1,00$, $K_y=1,03$, $K_y=1,05$. Для подальших досліджень і дослідного будівництва було вибрано склад ґрунту з коефіцієнтом ущільнення $K_y=1,05$, який має підвищені розрахункові характеристики в порівнянні з ґрунтом, ущільненим до $K_y=1,00$ (за модулем пружності в 1,45 рази, кутом внутрішнього тертя – в 1,25 рази, питому зчепленню у 1,74 рази).

Дослідне будівництво здійснювалось на ділянці автомобільної дороги Ульяновка-Миколаїв (через Вознесенськ) км 150+365 – км 151+645 у верхній частині насипу. Ділянка знаходиться у III дорожньо-кліматичній зоні, I тип місцевості за умовами зволоження. Для ущільнення ґрунту використано механізми – пневмокоток ДУ-16Д (25 т) та віброкоток НАММ 2520 (17 т). Роботи виконував ШРБУ-100.

Будівництво проводилось в період травня-липня 2005 року. Ґрунти завозились з кар'єру, відмічено деяку неоднорідність як за складом, так і за вологістю. Так, максимальна щільність змінювалась від 1,73 до 1,77 г/см^3 , природна вологість змінювалась від 21 % до 15,7 %, при оптимальній вологості близько 18 %, а для прийнятого коефіцієнту ущільнення 1,05 необхідна вологість складала 15,6 %. Для досягнення коефіцієнту ущільнення більше 1 відносна вологість повинна скласти $W/W_0 \cong 0,86-0,93$. Тому було вирішено ретельно перемішувати ґрунт автогрейдером і визначати максимальну щільність стандартного ущільнення.

Значну увагу приділяли контролю вологості і щільності. Товщина шарів ґрунту становила 0,35-0,40 м. В процесі перемішування і просушування ґрунту намагались досягти необхідних значень однорідності за вологістю і складом (контроль вологості здійснювався не менше 10 визначень на 300-400 м). На ділянці були влаштовані 3 дослідні ділянки. Середня вологість ґрунту на третій ділянці становила 16,1% при необхідній 16,0% і коливаннях від 15,6 до 17,3%.



Рис. 2. Загальний вигляд першої дослідної ділянки, нівелювання осадок ґрунту при ущільненні по металевим маркерам

Контроль щільності здійснювався в процесі ущільнення ґрунту. Вибір ґрунтоущільнювальних механізмів, оптимальної товщини шару ґрунту, необхідної кількості проходів котка та режимів ущільнення здійснювався за результатами пробного ущільнення. Згідно з рис. 3 необхідний ступінь ущільнення досягається після 24 проходів котка НАММ 2520. Середні значення коефіцієнта ущільнення при вологості ґрунту близько 16% становили: при 3 проходах – 0,938; при 12 проходах – 0,976; при 24 проходах – 1,052; при 32 проходах – 1,054 (фактично ущільнення припинилось). Слід визнати, що ущільнення при пониженій вологості відбувається із значно більшими зусиллями, ніж при оптимальній вологості. В роботі Л.І. Самойлової [12] наведено дані, що для досягнення заданих в експерименті коефіцієнтів ущільнення 0,9, 1,0, 1,1 необхідно виконати відповідно 4, 7 і 12 проходів котка масою 25 т (для супісків і суглинків легких). Результати визначення модуля пружності ґрунту земляного полотна наведено в табл. 1.

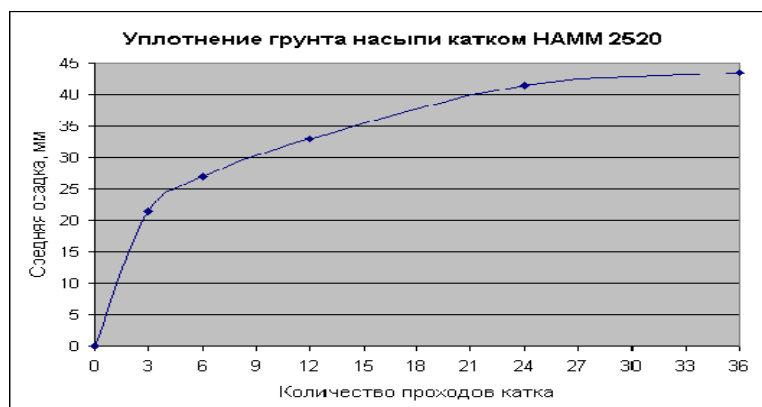


Рис. 3. Середня осадка шару ґрунту (по 16 точках) в залежності від кількості проходів котка НАММ 2520

Таблиця 1 – Визначення модуля пружності верхнього шару земляного полотна за допомогою установки ДИНА-3М на ділянці № 3

№ точки	Кількість проходів катка НАММ 2520		
	6	12	24
	Модуль пружності, МПа		
1	65	95	129
2	64	93	120
3	71	109	125
4	74	117	131
5	61	87	117
6	59	82	100*
7	60	86	116
8	66	97	125
Середнє значення	65	96	120

Примітка. Вологість 17,3 %.

На дослідних ділянках фактичний середній коефіцієнт ущільнення, досягнутий після 24 проходів катка НАММ 2520 – 1,050 – 1,054. Діапазон коливань фактичного коефіцієнта ущільнення – 1,020 – 1,070. З метою дослідження збереження високих значень щільності при експлуатації насипів через рік після влаштування на дослідній ділянці автомобільної дороги Ульяновка-Миколаїв (через Вознесенськ), км 150+365 – км 151+645 виконано вимірювання загального модуля пружності дорожнього одягу у розрахунковий період на ділянках підвищеної щільності і на контрольній ділянці, ПК 4+20 – ПК 5+00 установкою динамічного вантаження ДИНА-3М в розрахунковий період з 20.03 по 22.03.06 р (табл. 2).

Також проводилось вимірювання рівності покриття за допомогою поштовховимірювача пересувної лабораторії КП-514, вимірювання рівності покриття та поперечних ухилів за допомогою триметрової рейки «Кондор».

Конструкція дорожнього одягу включала:

- 4 см – гарячий дрібнозернистий асфальтобетон I марки, Тип «Б»;
- 8 см – гарячий крупнозернистий пористий асфальтобетон I марки;
- 8 см – просочення бітумом щебеню фракції 40-70 мм;
- 24 см – щебінь фракції 40-70 мм;
- 20 см – ґрунт, укріплений 4 % цементу;
- 20 см – пісок дрібнозернистий.

Аналіз результатів вимірювань свідчить, що пружно-деформаційні характеристики, отримані в період будівництва дорожнього одягу, практично не змінилися, однак спостерігається стійка тенденція перевищення модуля пружності на дослідних ділянках над контрольним в 1,30 рази на ділянці № 2, та у 1,41 рази на ділянці № 3.

Таблиця 2 – Визначення модуля пружності дорожнього одягу в розрахунковий період

№ п/п	Місцеположення точки вимірювання ПК	Статичний модуль пружності, МПа	Місцеположення точки вимірювання ПК	Статичний модуль пружності, МПа	Місцеположення точки вимірювання ПК	Статичний модуль пружності, МПа
	Ділянка №2		Ділянка №3		Контрольна ділянка	
1	ПК 2+05	372	ПК 3+15	435	ПК 4+39	245
2	ПК 2+08	252	ПК 3+18	412	ПК 4+41	252
3	ПК 2+11	245	ПК 3+21	435	ПК 4+44	217
4	ПК 2+14	326	ПК 3+24	489	ПК 4+47	270
5	ПК 2+17	326	ПК 3+27	391	ПК 4+50	313
6	ПК 2+21	270	ПК 3+30	313	ПК 4+53	270
7	ПК 2+24	313	ПК 3+33	326	ПК 4+56	326
8	ПК 2+27	355	ПК 3+36	391	ПК 4+59	252
9	ПК 2+30	391	ПК 3+39	313	ПК 4+62	245
10	ПК 2+33	412	ПК 3+41	391	ПК 4+65	270
11	ПК 2+55	412	ПК 3+44	391	ПК 4+68	270
12	ПК 2+39	391	ПК 3+47	313	ПК 4+71	252
13	ПК 2+41	391	ПК 3+50	355	ПК 4+74	245
	Середн. знач.	342		381	.	263

Рівність покриття визначалась на дослідних і на контрольній ділянці за допомогою поштовховимірювача пересувної дорожньої лабораторії КП-514 і 3-х метрової рейки «РДУ-Кондор», а також визначалися поперечні ухили. Рівність за допомогою триметрової рейки вимірювалася з кроком 3 м. Фіксувалися просвіти до 1 мм, від 1 мм до 5 мм і більше 5 мм. Поперечні ухили вимірювалися також з кроком через 3 м. Дослідні ділянки знаходяться на віражі з ухилом до осі, а контрольна ділянка – на відгоні віража, де ухили змінні. Вимірювання рівності покриття за допомогою базового поштовховимірювача пересувної лабораторії КП-514 не виявило яких-небудь переваг дослідних ділянок по відношенню до контрольних. Рівність вимірювалася через 50 м із перерахунком на 1 км і складала на ділянці № 2 – 46 см/км, на ділянці № 3 – 48 см/км, на контрольній ділянці – 44 см/км.

З метою визначення щільності і вологості ґрунту під дорожнім одягом і на узбіччі на ділянках № 2 і № 3 з боку узбіччя влаштовані по 2 шурфи глибиною 85 см і довжиною 2,0 м до ґрунту земляного полотна (рис. 4). У кожному шурфі відібрано по 4 проби ґрунту – 2 проби під дорожнім одягом, 2 проби під узбіччям. При певному розкіді даних вимірювань відмічено відносно мале зменшення середнього значення щільності після 10 місяців експлуатації – зниження коефіцієнта ущільнення на 0,008 од. під покриттям і на 0,020 під узбіччям (табл. 3). Результати вимірювань показали, що при достатньому капітальному дорожньому одязі високі значення щільності ґрунту зберігаються тривалий час і не відбувається збільшення вологості.



Рис. 4. Влаштування шурфу для визначення щільності та вологості ґрунту на дослідних ділянках (№2 і №3) автомобільної дороги Ульянівка-Миколаїв, км 150+365 – км 151 +645

Таблиця 3 – Визначення щільності і вологості ґрунту в період стабілізації

Місцезнаходження	Щільність, г/см ³	Вологість, %	Щільність сухого ґрунту, г/см ³	K _{уш}
Шурф № 1				
Точка №1 (під узбіччям)	2,078	17,0	1,775	1,020
Точка №2 (під узбіччям)	2,118	16,8	1,813	1,042
Точка №3 (під покриттям)	2,115	16,9	1,810	1,040
Шурф № 2				
Точка №5 (під узбіччям)	2,100	16,5	1,803	1,036
Точка №5 (під узбіччям)	2,111	16,9	1,806	1,038
Точка №7 (під покриттям)	2,121	16,2	1,825	1,049
Точка №8 (під покриттям)	2,109	16,8	1,806	1,038
Шурф № 3				
Точка №9 (під узбіччям)	2,072	17,3	1,766	1,015
Точка №10 (під узбіччям)	2,123	16,2	1,827	1,050
Точка №11 (під покриттям)	2,118	16,4	1,820	1,046
Точка №12 (під покриттям)	2,118	15,8	1,829	1,051

За результатами обстежень – середнє значення коефіцієнта ущільнення під покриттям на ділянці №2 – 1,054, № 3 – 1,050, під узбіччям – 1,032.

З метою визначення стану ділянок підвищеної щільності, влаштованих за участю М.Л. Міщенко, у вересні 2009 року співробітниками відділу асфальтобетонів ДерждорНДІ проведено обстеження автомобільної дороги Ульянівка – Миколаїв, км 150+365 – км 151 +645. Ділянки знаходяться у задовільному стані, деформацій покриття і земляного полотна не виявлено (рис. 5). Визначення рівності покриття 29.09.2009 р. (табл. 4) показало, що показники рівності практично не змінилися за 4 роки експлуатації.

Таблиця 4 – Відомість вимірювання рівності покриття

Правий проїзд					
№	місцеположення, км +		Сумарна нерівність, см/км		Примітка
	від	до	з кроком 100 м	по сертифікату Дор'якість	
1	км 150+400	км 150+500	41	53	ділянка № 1
2	км 150+500	км 150+600	33	42	ділянка № 2
3	км 150+600	км 150+700	31	39	ділянка № 2
4	км 150+700	км 150+800	29	36	ділянка № 3
5	км 150+800	км 150+900	32	40	
6	км 150+900	км 151+000	37	47	
7	км 151+000	км 151+100	35	45	контрольна ділянка
8	км 151+100	км 151+200	36	46	
9	км 151+200	км 151+300	41	53	
10	км 151+300	км 151+400	37	47	
11	км 151+400	км 151+500	44	57	

В таблиці 5 наведено порівняння даних вимірювання 2006 і 2009 років, які показують що величини просвітів під триметровою рейкою збільшились, але значні нерівності, пов'язані із станом земляного полотна, відсутні. Поперечний ухил на ділянці № 2 складає від 0,038 до 0,032. Визначення вологості ґрунтів, відібраних під дорожнім одягом та на узбіччі на глибині 0,8 м у шурфі № 1, показало значення від 9 % до 15%. Для співставлення даних доцільно провести подальші дослідження модуля пружності дорожньої конструкції в розрахунковий період та відібрати проби ґрунту в період стабілізації.



Рис. 5. Стан ділянки автомобільної дороги Ульянівка-Миколаїв у вересні 2009 року

Таблиця 5 – Вимірювання рівності триметровою рейкою

№ п/п	Місце-положення рейки, ПК	Кількість просвітів			Місце-положення рейки	Кількість просвітів		
		до 1 мм	до 5 мм	більше 5 мм		до 1 мм	до 5 мм	5 мм
		Дані 2006 року				Дані 2009 року		
1	ПК 2+05	1	-	-	Ділянка № 2, від км 150+560 до км 150+630	2	3	-
2	ПК 2+08	-	-	-		2	3	-
3	ПК 2+11	2	1	-		-	4	1
4	ПК 2+14	1	-	-		-	4	1
5	ПК 2+17	1	-	-		-	3	1
6	ПК 2+21	1	-	-		1	3	1
7	ПК 2+24	2	-	-		-	5	-
8	ПК 2+27	2	-	-		-	4	1
9	ПК 2+30	-	-	-		1	4	-
10	ПК 2+33	-	-	-		1	4	-
11	ПК 2+36	-	-	-		-	3	2
12	ПК 2+39	1	-	-		-	4	1
13	ПК 2+41	1	-	-		-	5	-

Висновки

1. За результатами моделювання процесів водонасичення суглинку в лабораторних умовах визначено розрахункові параметри ґрунтів підвищеної щільності при понижених значеннях вологості. Експериментальні роботи дозволили відпрацювати технологію влаштування верхніх шарів земляного полотна із суглинистого ґрунту з підвищеними значеннями щільності і уточнити режими ущільнення. Результати досліджень впроваджено на будівництві дослідних ділянок автомобільної дороги Ульянівка-Миколаїв, км 150+365 – км 151+645 у III дорожньо-кліматичній зоні.
2. За результатами обстежень дослідних ділянок розрахункові характеристики ґрунтів підвищеної щільності можна приймати на 30-40 % вище нормативних. Дослідження стабільності збереження підвищених значень щільності в процесі експлуатації показали, що при достатньо капітальному дорожньому одязі, коли ґрунти земляного полотна розташовуються нижче від зони промерзання у III дорожньо-кліматичній зоні, високі значення щільності ґрунтів зберігаються тривалий час. На дослідних ділянках не виявлено деформацій, пов'язаних з деформаціями ґрунтів в умовах зволоження–висушування, набухання–усадки, заморожування–відтавання.

Література

1. И.С. Тюремнов, Е.К. Чабуткин, Р.Д. Окулов. «Интеллектуальные» катки – «интеллектуальное» уплотнение //Журнал Строительные и дорожные машины, 2007.
2. Строительные нормы и правила. Часть II , раздел Д, глава 5. Автомобильные дороги. Нормы проектирования. М.: 1973. с. 111.
3. А.М. Каменев. Стабильность влажности и плотности грунта в V дор.-климатической зоне. Автомобильные дороги. № 4. 1981, с. 13-14.

4. Отчет о научно-исследовательской работе “Исследование оптимальных способов уплотняемости глинистых грунтов различными типами современных машин при возведении земляного полотна с разработкой рекомендаций”, ДерждорНДІ, 2005р, С.30-33.
5. ДБН В.2.3-4-2007. Споруди транспорту. Автомобільні дороги, Частина І. Проектування Частина ІІ. Будівництво
6. М.Л. Міщенко, Ю.В. Дорошенко, В.М. Катукова “Дослідження оптимальних способів ущільнюваності ґрунтів різними типами сучасних машин при спорудженні земляного полотна”, збірник «Дороги і мости», 2005р.
7. Ю.М. Васильев. Современное состояние и перспективы развития проблемы уплотнения грунтов. В. сб. «Уплотнение земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд». Труды СоюздорНИИ. М.: 1980. – С. 6-14.
8. М.Б. Корсунский, Ю.М. Васильев. Прогнозирование и регулирование влажности грунтов земляного полотна. Автомобильные дороги. № 11, 1980. – С. 17-19.
9. В.Н. Яромко. Контроль плотности земляного полотна вероятностно-статическими методами. Автомобильные дороги. № 4, 1979. – С. 23-24.
10. Н.Я. Хархута, Ю.М. Васильев. Прочность, устойчивость и уплотнение земляного полотна. М.: Транспорт, 1975
11. ГОСТ 12248-96 Грунты. Метод лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости
12. Самойлова Л.И. Новые нормы плотности грунтов с учетом их однородности / Л.И. Самойлова // Совершенствование автомобильных дорог и искусственных сооружений на Северо-Западе РСФСР: сб. науч. тр. / ЛИСИ. – Л., 1987. – С. 102-106.