

Павлюк Д.О., д.т.н., професор
Шур'яков М.В., аспірант
Гладун С.А., аспірант
Національний транспортний університет, м. Київ

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Аналіз сучасної нормативно-технічної бази свідчить, що в Україні нині чинними є три методи визначення максимальної щільності ґрунту земляного полотна, а саме: метод стандартної щільності, метод Проктора, модифікований метод Проктора. Установлено, що відношення показника максимальної щільності, отриманого цими методами, для глин становить 1:1,02:1,06. Оскільки показники максимальної щільності ґрунту за модифікованим методом Проктора перевершують аналогічні показники за стандартним методом щільності на 6%, то можна зробити висновок про те, що застосування модифікованого методу Проктора та вимог ДБН В.2.3-4 дозволить досягти суттєвого підвищення якості ущільнення ґрунтів при будівництві земляного полотна.

Ключові слова: щільність, максимальна щільність, метод стандартної щільності, метод Проктора, модифікований метод Проктора.

Павлюк Д.А., д.т.н., професор
Шур'яков М.В., аспірант
Гладун С.А., аспірант
Національний транспортний університет, г. Киев

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ҐРУНТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Анализ современной нормативно-технической базы свидетельствует, что в Украине сейчас действительны три метода определения максимальной плотности ґрунта земляного полотна, а именно: метод стандартной плотности, метод Проктора, модифицированный метод Проктора. Установлено, что отношение показателя максимальной плотности, полученного этими методами, для глин составляет 1:1,02:1,06. Поскольку показатели максимальной плотности ґрунта по модифицированному методу Проктора превосходят аналогичные показатели по стандартному методу плотности на 6%, то можно сделать вывод о том, что применение модифицированного метода Проктора и требований ДБН В.2.3-4 позволит достичь существенного повышения качества уплотнения ґрунтов при строительстве земляного полотна.

Ключевые слова: плотность, максимальная плотность, метод стандартного уплотнения, метод Проктора, модифицированный метод Проктора.

*Pavlyuk D., DSc, Professor
Shuryakov M., post-graduate
Gladun S., post-graduate
National Transport University, Kyiv*

COMPARISON OF METHODS AND MEANS FOR SOIL COMPRESSION CONTROL AT SUBGRADE BUILDING

Loads on highways lately increased and considerably exceed design loads. It needs the revision of valid norms and methods of subgrade soil compression control. Subgrade soil compression control according to Ukrainian valid norm documents is realized by compression factor value. This factor represents the ratio of factual skeleton solidity to its maximum solidity under standard compression.

In Ukraine at present time there are in valid three methods of maximum density determination: method of standard compression, Proctor method and modified Proctor method. The last two methods are standardized in Change №1 to DSTU Б B.2.1-12.2009.

When copying this change from the German standard DIN 18127:1997 there was committing an error, which must be corrected.

There is realized the comparison of technical parameters, methods and means for maximum soil density determination.

Standard compression device differs not only punch diameter, but that besides cylinder with diameter 100 mm there are using two more cylinders with diameter 150 and 250 mm. For better test soil compression for cylinders there are using punches with diameters twice smaller. During blow soil fractions are moving in vertical and horizontal directions. It led to more compact their siting. The presence of clearance promotes air moving off pores. The difference is also in the using of shock-worker with the spring, that excludes the operator influence at soil sample at blow moment.

There was realized density determination by Proctor method. Shock-worker with spring was made, and there was realized the comparison of its work and standard compression device work. There was established, that in Proctor shock-worker efficiency of weight fall up is not observed, bar does not vibrate and run up. Cylinder from home device was used as test cylinder. For measuring there was choosed the sample of clay with mass about three kilograms. There are adduced results of tests, which were carried out.

There are obtained the results of maximum density with the help of different methods. There are adduced tables and diagrams of dependences, using results of tests, which were carried out. Ratio of maximum density, which is obtained with the help of standard compression method, Proctor method and modified Proctor method for clays looks like 1:1,02:1,06. That may supplement with data of comparative tests, which were fulfilled earlier.

Since maximum density by Proctor method top by 6% the density by standard method then using of modified Proctor method and DBN B.2.3-4 demands it is possible to achieve essential increasing of subgrade soil compression in Ukraine.

For road laboratory supply it is necessary to elaborate the equipment for modified Proctor method realization. It is necessary to use standard compression SojuzdorNII device parts, which is in every road laboratory.

Keywords: *density, maximum density, standard compression method, Proctor method, modified Proctor method.*

Вступ. Рівність покриття та міцність дорожнього одягу значною мірою залежать від ступеня ущільнення ґрунту земляного полотна й шарів основи дорожнього одягу при будівництві автомобільної дороги. Недостатнє ущільнення цих елементів дорожньої конструкції може призводити до утворення колій, просідань, зміщень та тріщин на поверхні дорожнього покриття.

Останнім часом на автомобільних дорогах України з'явилося багато транспортних засобів, від яких фактичні параметри навантажень на дорожню конструкцію значно перевищують розрахункові навантаження, що прийняті в діючих нормативних документах.

Зміна навантажень на дорожню конструкцію потребує перегляду норм і методів контролю ущільнення ґрунту земляного полотна й шарів основи дорожнього одягу.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Контроль ущільнення ґрунтів земляного полотна за діючими в СРСР [1–4] і нині в Україні нормативними документами [5, 6] здійснюється за величиною коефіцієнта ущільнення ґрунту

$$K_{уц} = \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{max}}, \quad (1)$$

де γ_{ϕ} – фактична щільність скелета ґрунту, г/см³;

γ_{max} – максимальна щільність скелета ґрунту при стандартному ущільненні, г/см³.

Порівнювати фактичну щільність ґрунту з максимальною вперше запропонував Р. Проктор у 1933 році [7–9], який вважав, що при ущільненні ґрунту до максимальної щільності він не буде просідати під час експлуатації споруд. Критерій достатності ущільнення полягає в тому, що величина $K_{уц} \approx 1$. Ним були розроблені метод оцінювання та прилад для його реалізації, відомий у всьому світі як метод і прилад Проктора.

У другій половині 40-х років минулого століття у зв'язку з підвищенням вантажопідйомності транспортних засобів у США було модифіковано метод і прилад Проктора, за допомогою якого створювали більш жорсткі умови ущільнення ґрунту. Відповідно значення максимальної щільності стали більшими.

Використання метода Проктора і модифікованого метода Проктора, наприклад у Німеччині, було передбачено нормативним документом [14], який був перевиданий у 2012 році [15].

Визначення максимальної щільності скелета ґрунту в колишньому СРСР та нині в Україні здійснювалося за нормативами [10, 11] за допомогою приладу стандартного ущільнення (метод СоюздорНД), розробленого в СРСР наприкінці тридцятих років минулого століття шляхом видозміни конструкції приладу Проктора. На думку Б.С. Радовського: «Н.Н. Иванов и М.Я. Телегин, разработавшие на основе метода Проктора стандарт для СССР (переизданный в ГОСТ 22733-77), внесли, к сожалению, изменение – диаметр трамбовки приняли равным внутреннему диаметру стакана. Это повлекло за собой изменение схемы нагружения – образец находится в условиях однородного напряженного состояния без возможности сдвиговой деформации с боковым выпором ґрунта» [12].

У 2011 році Мінрегіонбуд України прийняв Зміну №1 до ДСТУ Б В.2.1-12 [16], у якій вказано: «Для адаптації національних стандартів на методи випробування ґрунтів у будівництві до європейських стандартів у додатку Ж цього стандарту як довідковий матеріал викладено тотожний переклад німецького стандарту DIN 18127:1997 [14], який встановлює метод Проктора, що використовується для визначення щільності сухого ґрунту після ущільнення при визначених умовах випробування як функції вологості». У вказаній зміні йдеться також про модифікований метод Проктора.

У вказаній Зміні №1 наведені дві однакові таблиці під різними назвами:

Таблиця Г.4.1 – Визначення щільності за Проктором ρ_{P_2}

Розміри випробувального циліндра (рисунок Г.4.1)				Розміри та падаючий вантаж ущільнювача (рисунок Г.4.2)			Умови випробування		
d_1 , мм	h_1 , мм	a , мм	s_1 , мм	форма	d_2 , мм	h_2^* , мм	Падаючий вантаж m_1^* , кг	Кількість ударів на шар	Кількість шарів
100	120	$\geq 7,5$	11	A	50	450	4,5	25	5
150	125	$\geq 9,0$	14	B	75	450	4,5	59	5
250	200	$\geq 14,0$	20	C	125	600	15,0	98	3

^{*}Граничний відхил: $\pm 0,004 \cdot h_2$ або $\pm 0,004 \cdot m$

Таблиця Г.4.2 – Визначення модифікованої щільності за Проктором $mod \rho_{Pr}$

Розміри випробувального циліндра (рисунок Г.4.1)				Розміри та падаючий вантаж ущільнювача (рисунок Г.4.2)			Умови випробування		
d_1 , мм	h_1 , мм	a , мм	s_1 , мм	форма	d_2 , мм	h_2^* , мм	Падаючий вантаж m_1^* , кг	Кількість ударів на шар	Кількість шарів
100	120	$\geq 7,5$	11	A	50	450	4,5	25	5
150	125	$\geq 9,0$	14	B	75	450	4,5	59	5
250	200	$\geq 14,0$	20	C	125	600	15,0	98	3

^{*}Граничний відхил: $\pm 0,004 \cdot h_2$ або $\pm 0,004 \cdot m$

Першу таблицю слід замінити на таку (табл. 1).

Таблиця 1 – Визначення щільності за Проктором ρ_{P_2}

Розміри випробувального циліндра (рисунок Г.4.1)				Розміри та падаючий вантаж ущільнювача (рисунок Г.4.2)			Умови випробування		
d_1 , мм	h_1 , мм	a , мм	s_1 , мм	форма	d_2 , мм	h_2^* , мм	Падаючий вантаж m_1^* , кг	Кількість ударів на шар	Кількість шарів
100	120	$\geq 7,5$	11	A	50	300	4,5	25	3
150	125	$\geq 9,0$	14	B	75	450	4,5	22	3
250	200	$\geq 14,0$	20	C	125	600	15,0	22	3

^{*}Граничний відхил: $\pm 0,004 \cdot h_2$ або $\pm 0,004 \cdot m$

Таким чином, в Україні на сьогодні чинними є три методи визначення максимальної щільності ґрунту: метод стандартної щільності, метод Проктора, модифікований метод Проктора.

У роботі [13] наводяться результати порівняння максимальної щільності ґрунту, отримані за допомогою приладу стандартного ущільнення, приладу Проктора і модифікованого приладу Проктора. Виявляється, що значення максимальної щільності за першими двома приладами збігаються, а модифікований прилад Проктора дає результати, що на 4 – 5% завищені.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Згадана відмінність приладу стандартного ущільнення від приладу Проктора не є єдиною, тому доцільно проаналізувати конструкції приладів більш детально.

Відомі результати порівняння значень максимальної щільності застарілі, оскільки вони відносяться до 70-х років минулого століття. Доцільно виконати це порівняння з урахуванням останніх як вітчизняних, так і зарубіжних стандартів.

Мета дослідження – порівняння конструкцій приладів для визначення макимальної щільності ґрунту й отриманих з їх використанням результатів, а також розроблення рекомендацій щодо вдосконалення контролю ущільнення ґрунтів при зведенні земляного полотна.

Основний матеріал і результати дослідження. Порівняння технічних параметрів засобів та способів для визначення максимальної щільності скелета ґрунту наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Порівняння технічних параметрів засобів і способів для визначення максимальної щільності скелета ґрунту

Характеристика	Метод стандартного ущільнення [16]	Метод Проктора [14]			Модифікований метод Проктора [15]		
		120	125	200	120	125	200
Висота циліндра, мм	127,4	120	125	200	120	125	200
Діаметр циліндра, см	10	10	15	25	10	15	25
Маса гирі, кг	2,5	2,5	4,5	15	4,5	4,5	15
Висота падіння гирі, см	30	30	45	60	30	45	60
Товщина шару ґрунту, який вкладається за один раз, см	5-6	-	-	-	-	-	-
Кількість шарів ґрунту, шт.	3	3	3	3	5	5	3
Кількість ударів при ущільненні шару ґрунту, шт.	40	25	22	22	25	59	98
Сумарна кількість ударів, шт.	120	75	66	66	125	295	294
Діаметр штампа, мм	100	50	75	125	50	75	125
Робота на ущільнення, МНм/м ³	–	0,6	0,6	0,6	2,7	2,7	2,7

Прилад для стандартного ущільнення ґрунту (рис. 1) відрізняється від приладу Проктора (рис. 2) не тільки діаметром штампа, а й тим, що, крім циліндра діаметром 100 мм, у приладі Проктора використовують ще два циліндри діаметром 150 та 250 мм. Для кожного циліндра використовується штамп, діаметр якого удвічі менший. Як згадувалося вище, це дає змогу краще ущільнити пробу ґрунту, тому що під час удару частинки ґрунту переміщуються не лише у вертикальному напрямку, а також і в горизонтальному, що призводить до більш щільного їх взаєморозташування. Крім того, наявність зазору дає змогу краще видалити повітря з пор ґрунту.

При використанні такого штампа удари повинні виконуватись за схемою, наведеною на рис. 3. Ущільнення має здійснюватися за 3 – 4 оберти штампа всередині циліндра, при цьому штамп має рівномірно зміщуватись на поверхні шару ґрунту. Ущільнюючі удари штампом повинні здійснюватися для кожного шару без перерви.

Другою головною відмінністю є використання ударника з пружиною (рис. 2, б; 4). Це виключає вплив оператора на пробу ґрунту в момент удару. Під час удару виникає реактивний момент, котрий компенсує силу, з якою оператор тисне на ударник.

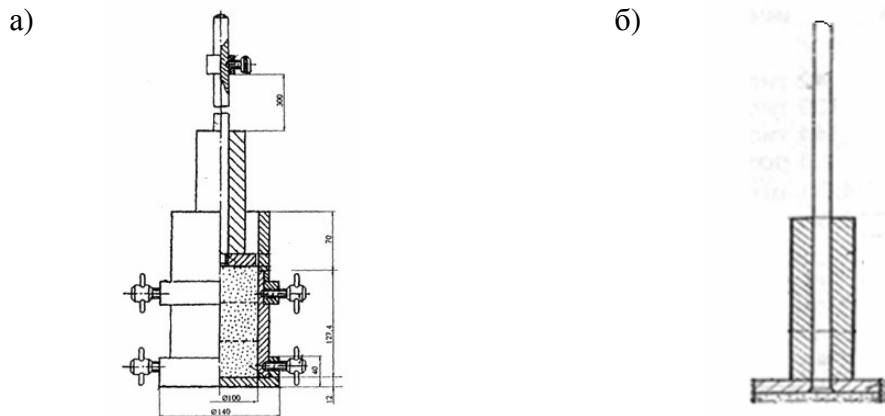


Рисунок 1 – Прилад стандартного ущільнення ґрунту: а) циліндр; б) ударник

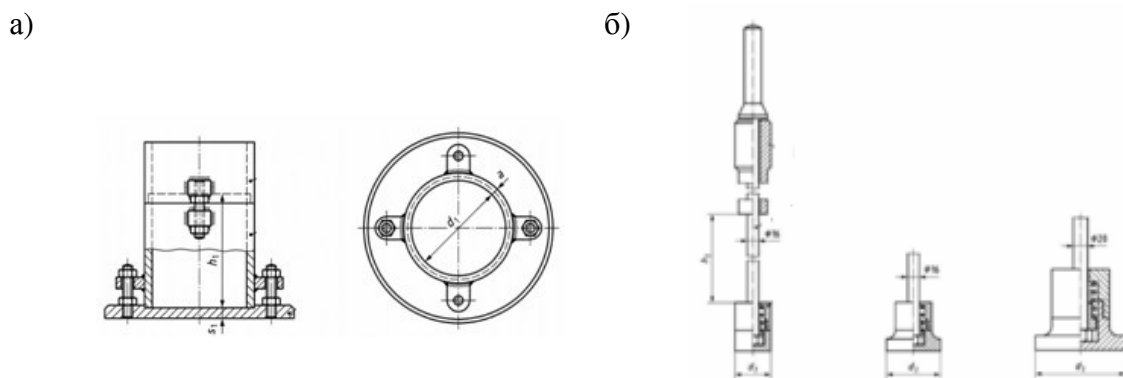


Рисунок 2 – Прилад Проктора: а) циліндр; б) ударник

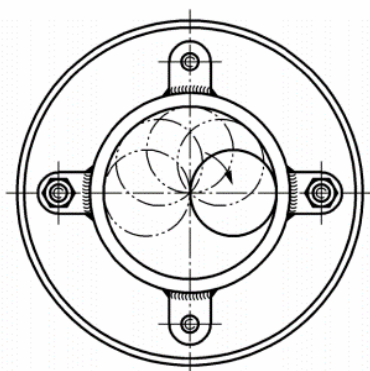


Рисунок 3 – Схема послідовності виконання ударів у дослідному циліндрі

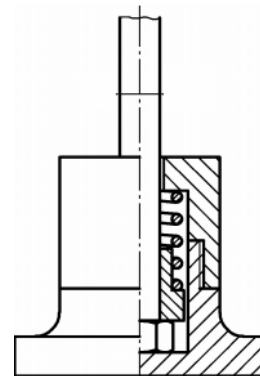


Рисунок 4 – Ударник із пружиною за нормами [14]

За отриманими даними будують графік (рис. 5), на якому суцільна лінія з маркерами означає криву Проктора; суцільна крива без маркера – криву насиченості для 100-відсоткового насичення усього об'єму пор ($S_r = 1$ при $p_s = 2,71 \text{ г/см}^3$); штрихова лінія – залежність щільності сухої речовини від умісту води при заданій частці повітряних пор (p_d при $n_a = 0,12$).

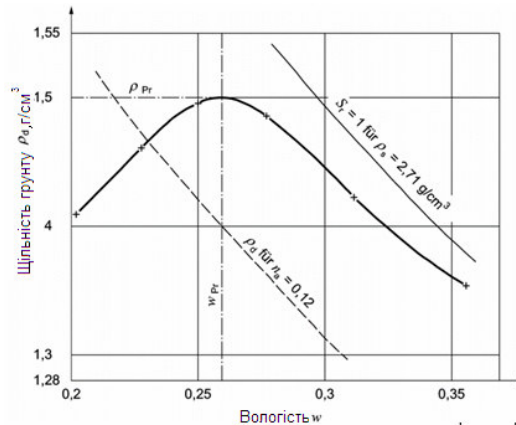


Рисунок 5 – Графік Проктора для дрібнозернистого ґрунту без частки зерен надлишкової форми, які відбираються з проби

Горизонтальна відстань від кривої насиченості ($S_r = 1$ при $p_s = 2,71 \text{ г/см}^3$) до кривої Проктора на рис. 5 – це міра вмісту повітря у кожній з проб.

Інша крива (ρ_d при $n_a = 0,12$) показує залежність щільності сухої речовини від вмісту води при заданій частці повітряних пор $n_a = 0,12$. Це значення часто застосовується як критерій якості ущільнення при земляних роботах [14]. Із цього графіка можна побачити, що щільність за методом Проктора становить $\rho_{Pr} = 1,50 \text{ г/см}^3$ при вологості $w_{Pr} = 0,260$.

Згідно з описаною вище методикою було проведено визначення щільності за методом Проктора та методом стандартного ущільнення (рис. 6).



Рисунок 6 – Порівняння роботи ударників при визначенні щільності ґрунту

У результаті порівняння встановлено, що в ударникові приладу Проктора не відчувається віддача при падінні гири, штанга не вібрує і не підскакує вгору.

Як дослідний використовували циліндр від приладу стандартного ущільнення. Для вимірювань було відібрано пробу глини, масою близько 3 кг. Пробу попередньо просушили та довели до вологості 8%. Процес проведення вимірювання наведено на рис. 7.

Після кожного вимірювання ущільнений зразок зважували та заносили дані до відповідної таблиці. Потім готувалась нова проба з вологістю, більшою на 2%. Випробування повторювалися. Результати досліджень наведені у таблицях 3 – 5.



Рисунок 7 – Процес визначення щільності за методом Проктора

Таблиця 3 – Визначення вологості

Показники	Вологість у зразках			
	1	2	3	4
Маса вологої проби з контейнером, г	55	56	66	74
Маса сухої проби з контейнером, г	52	52,2	60,5	66
Маса контейнера, г	14	14	14	14
Маса води в порах, г	3	3,8	5,5	8
Маса сухої проби, г	38	38,2	46,5	52
Вологість, г/см ³	0,08	0,10	0,12	0,15

Таблиця 4 – Визначення щільності ґрунту

Показники	Вологість у зразках			
	1	2	3	4
Маса вологого зразка із циліндром, г	4693	4843	4949	4942
Маса циліндра, г	2862	2862	2862	2862
Маса вологого зразка, г	1831	1981	2087	2080
Об'єм циліндра, см ³	1000	1000	1000	1000
Щільність вологого ґрунту, г/см ³	1,831	1,981	2,087	2,080

Таблиця 5 – Визначення щільності сухого ґрунту

Показники	Вологість у зразках			
	1	2	3	4
Маса вологого зразка із циліндром, г	1,697	1,802	1,866	1,803

За даними табл. 5 було побудовано графік, зображений на рис. 8.

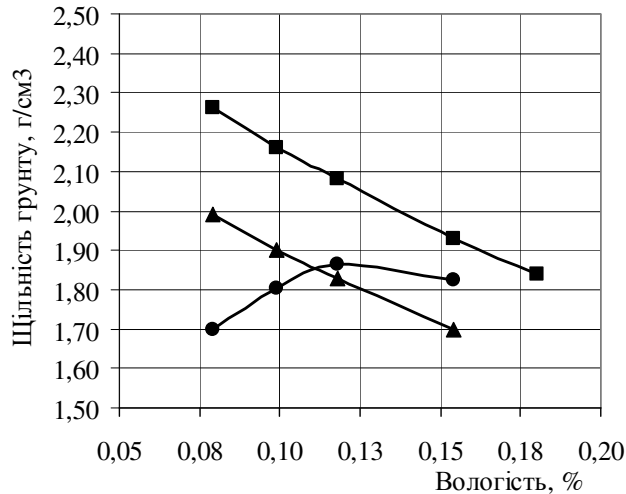


Рисунок 8 – Визначення щільності ґрунту за методом Проктора
 (крива з круглими маркерами – щільність ґрунту;
 крива з квадратними маркерами – $S_r = 1$ при $p_s = 2,71$ г/см³;
 крива з трикутними маркерами – p_d при $n_a = 0,12$)

На цьому графіку також наведено криву насиченості ($S_r = 1$ при $p_s = 2,75$ г/см³) для 100-відсоткового насичення всього об'єму пор та криву p_d при $n_a = 0,12$, яка показує залежність щільності сухої речовини від умісту води при заданій частці повітряних пор $n_a = 0,12$. У цьому випадку щільність за Проктором $p_{Pr} = 1,866$ г/см³ при вологості $w_{Pr} = 0,120$ г/см³.

Для порівняння результатів вимірювань за нормами [11, 14] було побудовано графік, зображений на рис. 9.

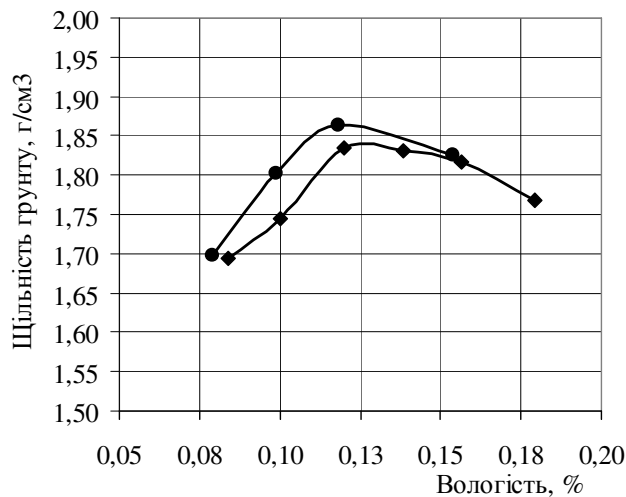


Рисунок 9 – Графік порівняння щільності ґрунту, отриманої різними методами
 (крива з круглими маркерами – метод Проктора;
 крива з ромбічними маркерами – метод стандартного ущільнення)

Як видно із графіка, щільність за методом Проктора склала $p_{Pr} = 1,866$ г/см³ при вологості $w_{Pr} = 0,120$ г/см³, а щільність, отримана за методом стандартного ущільнення, – $1,834$ г/см³ при тій самій вологості. Різниця складає $0,032$ г/см³, або близько 2%.

Оскільки максимальна щільність ґрунту менша за методикою стандартного ущільнення, то отримуємо більше значення коефіцієнта ущільнення, ніж за методом Проктора (табл. 6). Це означає, що, використовуючи на практиці метод Проктора, можна досягти кращого ущільнення ґрунтів.

Таблиця 6 – Порівняння значень коефіцієнта ущільнення

Фактична щільність, г/см ³	Максимальна щільність, г/см ³	Коефіцієнт ущільнення
1,8	1,834	0,98
1,8	1,866	0,96

На наступному етапі були проведені порівняння максимальної щільності за методом СоюздорНДІ згідно з нормами [11] та за модифікованим методом Проктора згідно з нормами [15] (табл. 7).

Таблиця 7 – Параметри випробувань модифікованим методом Проктора [15]

Розміри циліндра (рис. 1)				Розміри падаючої гири пристрою для ущільнення (рис. 2)			Умови випробування		
d_1 , мм	h_1 , мм	a , мм	s_1 , мм	форма	d_2 , мм	h_2^* , мм	Падаючий вантаж m_1^* , кг	Кількість ударів на шар	Кількість шарів
100	120	$\geq 7,5$	11	А	50	300	4,5	25	5
150	125	$\geq 9,0$	14	В	75	450	4,5	59	5
250	200	$\geq 14,0$	20	С	125	600	15,0	98	3

* Граничне відхилення: $\pm 0,004 \cdot h_2$ або $\pm 0,004 \cdot m$

Як слідує з табл. 7, модифікований метод Проктора характеризується посиленням навантаженням ґрунту та збільшенням кількості шарів і ударів.

Процес проведення випробувань наведено на рис. 10.



Рисунок 10 – Процес визначення щільності модифікованим методом Проктора

Результати вимірювань наведено у таблицях 8 – 10.

Таблиця 8 – Визначення вологості

Показники	Вологість у зразках				
	1	2	3	4	5
Маса вологої проби із контейнером, г	69	64	79	79	67
Маса сухої проби з контейнером, г	66	60	72	71	59
Маса контейнера, г	14	14	14	14	14
Маса води в порах, г	3	4	7	8	8
Маса сухої проби, г	52	46	58	57	45
Вологість, г/см ³	0,06	0,09	0,12	0,14	0,18

Таблиця 9 – Визначення щільності ґрунту

Показники	Вологість у зразках				
	1	2	3	4	5
Маса вологого зразка із циліндром, г	4641	4886	5040	4955	4951
Маса циліндра, г	2862	2862	2862	2862	2862
Маса вологого зразка, г	1779	2024	2178	2093	2089
Об'єм циліндра, см ³	1000	1000	1000	1000	1000
Щільність вологого ґрунту, г/см ³	1,779	2,024	2,178	2,093	2,089

Таблиця 10 – Визначення щільності сухого ґрунту

Показники	Вологість у зразках				
	1	2	3	4	5
Маса вологого зразка із циліндром, г	1,682	1,862	1,943	1,835	1,774

За даними таблиці було побудовано графік (рис. 11).

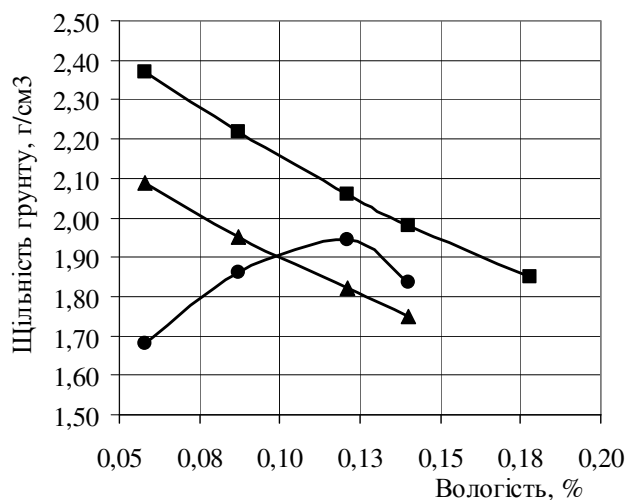


Рисунок 11 – Визначення щільності ґрунту за модифікованим методом Проктора

(крива з круглими маркерами – щільність ґрунту;
 крива з квадратними маркерами – $S_r = 1$ при $p_s = 2,71$ г/см³;
 крива з трикутними маркерами – p_d при $n_a = 0,12$)

Також на графіку наведено криву насиченості $S_r = 1$ при $p_s = 2,75 \text{ г/см}^3$ для 100-відсоткового насичення всього об'єму пор та криву p_d при $n_a = 0,12$, що показує залежність щільності сухої речовини від умісту води при заданій частці повітряних пор $n_a = 0,12$. Максимальна щільність за модифікованим методом Проктора склала $p_{Pr} = 1,943 \text{ г/см}^3$ при вологості $w_{Pr} = 0,120 \text{ г/см}^3$.

Для порівняння результатів вимірювань було побудовано графік, на якому зображено дані визначення щільності обома способами (рис. 12).

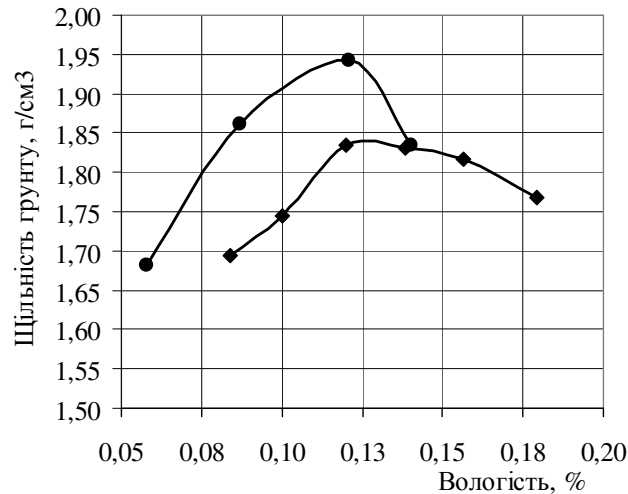


Рисунок 12 – Порівняння результатів, отриманих різними методами
(крива з круглими маркерами – модифікований метод Проктора;
крива з ромбічними маркерами – метод стандартного ущільнення)

Максимальна щільність, отримана за методом норм [11], склала $p_{Pr} = 1,834 \text{ г/см}^3$. Різниця суттєва і становить $0,109 \text{ г/см}^3$.

Оскільки максимальна щільність менша, за вітчизняною методикою отримаємо більше значення коефіцієнта ущільнення, ніж використовуючи модифікований метод Проктора (табл. 11).

Таблиця 11 – Порівняння значень коефіцієнтів ущільнення

Фактична щільність, г/см^3	Максимальна щільність, г/см^3	Коефіцієнт ущільнення
1,8	1,834	0,98
1,8	1,943	0,93

Різниця в значеннях коефіцієнта ущільнення з табл. 11 становить 0,05, тобто, використовуючи модифікований метод Проктора, можна досягти кращого ущільнення ґрунту земляного полотна.

Значення коефіцієнтів ущільнення за трьома методами наведено в таблиці 12.

Таблиця 12 – Порівняння коефіцієнтів ущільнення

Метод випробування	Максимальна щільність, г/см^3	$K_{уц}$ при фактичній щільності $1,80 \text{ г/см}^3$
Метод стандартного ущільнення	1,83	0,98
Метод Проктора	1,86	0,97
Модифікований метод Проктора	1,94	0,92

Висновки:

1. В Україні діють три методи визначення максимальної щільності ґрунту: метод стандартної щільності, метод Проктора та модифікований метод Проктора. Останні два методи стандартизовані в Зміні № 1 [16] до нормативного документа [11]. При копіюванні тексту цієї Зміни з німецького стандарту [14] була допущена неточність, яку слід виправити.

2. Прилад стандартного ущільнення відрізняється від приладу Проктора тим, що в приладі Проктора, крім циліндра діаметром 100 мм, використовують ще й циліндри діаметром 150 та 250 мм. Крім цього, в приладі Проктора використовують ударник з пружиною, що виключає вплив оператора на пробу ґрунту в момент удару.

3. Відношення максимальної щільності, отриманої за допомогою методу стандартного ущільнення, методу Проктора і модифікованого методу Проктора, для глин становить 1:1,02:1,06, що доповнює дані порівняльних випробувань з роботи [13].

4. Оскільки максимальна щільність за модифікованим методом Проктора перевершує щільність, отриману за стандартним методом, на 6%, то досягти суттєвого підвищення якості ущільнення ґрунтів земляного полотна можна завдяки використанню саме модифікованого методу Проктора та вимог норм [5].

5. Доцільно виконати переоснащення приладів стандартного ущільнення, що наявні в дорожніх лабораторіях, відповідно до вимог модифікованого методу Проктора.

Література

1. *НиТУ 128-55. Нормы и технические условия проектирования автомобильных дорог.* – М., 1955. – 109 с.
2. *СНиП II-Д.5-62. Автомобильные дороги.* – М. : Стройиздат, 1964. – 36 с.
3. *СНиП II-Д.5-72. Автомобильные дороги.* – М. : Стройиздат, 1973. – 110 с.
4. *СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги.* – М. : Стройиздат, 1986. – 56 с.
5. *ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги.* – К. : Мінрегіон України, 2016. – 91 с.
6. *ВБН В.2.3-218-171-2002. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг.* – К. : Укравтодор, 2002. – 109 с.
7. *Proctor R. The Design and Construction of Rolled Earth Dams / R. Proctor // Engineering News Record.* – New York: Engineering News Publishing Co., 1933.
8. *Proctor R. Description of Field and Laboratory Methods / R. Proctor // Engineering News Record.* – New York: Engineering News Publishing Co., 1933.
9. *Merkblatt für bodenphysikalische Prüffervaren.* – Berlin: DIN, 1955. – 32 p.
10. *ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности.* – М. : Госстрой России, 2003. – 12 с.
11. *ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Грунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності.* – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 10 с.
12. *Радовский Б. С. Методы и приборы контроля качества строительства дорожных покрытий в США / Б. С. Радовский // Дорожная техника.* – 2005. – С. 162 – 174.
13. *Хархута Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев.* – М. : Транспорт, 1975. – 228 с.
14. *DIN 18127:1997. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Proctorversuch.* – Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 1997. – 33 p.
15. *DIN 18127:2012. Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Proctorversuch.* – Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 2012. – 32 p.
16. *ДСТУ Б В.2.1-12:2009. Грунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. Зміна №1.* – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 21 с.

References

1. NiTU 128-55. Normy i tehnicheskie usloviya proektirovaniya avtomobilnyh dorog. – M., 1955. – 109 s.
2. SNiP II-D.5-62. Avtomobilnye dorogi. – M. : Stroyizdat, 1964. – 36 s.
3. SNiP II-D.5-72. Avtomobilnye dorogi. – M. : Stroyizdat, 1973. – 110 s.
4. SNiP 2.05.02-85. Avtomobilnye dorogi. – M. : Stroyizdat, 1986. – 56 s.
5. DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorogi. – K. : Minregion Ukraini, 2016. – 91 s.
6. VBN V.2.3-218-171-2002. Sporudzhennya zemlyanogo polotna avtomobilnih dorog. – K. : Ukravtodor, 2002. – 109 s.
7. Proctor R. *The Design and Construction of Rolled Earth Dams* / R. Proctor // *Engineering News Record*. – New York: Engineering News Publishing Co., 1933.
8. Proctor R. *Description of Field and Laboratory Methods* / R. Proctor // *Engineering News Record*. – New York: Engineering News Publishing Co., 1933.
9. Merkblatt für bodenpyzikalische Prüffervaren. – Berlin: DIN, 1955. – 32 p.
10. GOST 22733-2002. Grunty. Metod laboratornogo opredeleniya maksimalnoy plotnosti. – M. : Gosstroy Rossii, 2003. – 12 s.
11. DSTU B V.2.1-12.2009. Grunty. Metod laboratornogo viznachennya maksimalnoyi shchilnost. – K. : Minregionbud Ukraini, 2010. – 10 s.
12. Radovskiy B. S. *Metody i pribory kontrolya kachestva stroitelstva dorozhnyh pokrytiy v SShA* / B. S. Radovskiy // *Dorozhnaya tehnika*. – 2005. – S. 162 – 174.
13. Harhuta N. Ya. *Prochnost, ustoychivost i uplotnenie gruntov zemlyanogo polotna avtomobilnyh dorog* / N. Ya. Harhuta, Yu. M. Vasilev. – M. : Transport, 1975. – 228 s.
14. DIN 18127:1997. *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Proctorversuch*. – Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 1997. – 33 p.
15. DIN 18127:2012. *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben. Proctorversuch*. – Berlin: Deutsches Institut für Normung (DIN), 2012. – 32 p.
16. DSTU B V.2.1-12.2009. Grunty. Metod laboratornogo viznachennya maksimalnoyi shchilnosti. Zmina №1. – K. : Minregionbud Ukraini, 2011. – 21 s.

© Павлюк Д.О., Шур'яков М.В., Гладун С.А.
Надійшла до редакції 15.05.2016