



УДК 625.7

• © А.С. Литвиненко, зав. лабораторії (ДерждорНДІ)

# ПРО ДОЦІЛЬНІСТЬ І НЕОБХІДНІСТЬ СПРОЩЕННЯ ЧИННОГО МЕТОДУ ЛАБОРАТОРНОГО ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЩІЛЬНОСТІ ЗА ДСТУ Б В.2.1–12

**Анотація.** Доводиться доцільність і необхідність спрощення чинної методики стандартного ущільнення ґрунтів за ДСТУ Б В.2.1–12, а також показується аналогічна недоцільність використання, із цієї ж причини, і стандартного ущільнення ґрунтів за методом Р.Р. Проктора, що дуже поширений у багатьох країнах чи методом AASHTO.

**Ключові слова:** автомобільна дорога; ґрунт; стандартне ущільнення; максимальна щільність ґрунту.

**Аннотация.** Доказывается целесообразность и необходимость существенного упрощения действующей методики стандартного уплотнения грунтов по ДСТУ Б В.2.1–12, а также показывается аналогичная нерациональность использования, по той же причине, и стандартного уплотнения грунтов по методу Р.Р. Проктора, который очень распространен в многих странах или по методу AASHTO.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога; грунт; стандартное уплотнение; максимальная плотность грунта.

**Annotation.** The article proves expediency and necessity of a valid standard soil compaction method simplification according to ДСТУ (State Construction Norms) Б В.2.1–12. Basing on the same reasons, analogical irrationality of using a widely spread in many countries standard soil compaction method by R.R. Proctor or according to AASHTO method is also proved.

**Key words:** road; soil; standard compaction; maximum density of soil.

## Вступ

Стандартне ущільнення ґрунтів за ДСТУБ В.2.1–12:2009 (раніше ГОСТ 22733–77) [1, 2] чи то за методом Р.Р. Проктора або AASHTO [3, 4], як і будь-яке інше стандартне, тобто суто формальне випробування, зазвичай, тільки частково відтворює певне реальне явище, по суті не торкаючись його змісту. Це дозволяє прискорити отримання на рівні дії “турнікета” – так чи ні, певного

кількісного значення деяких контрольованих показників і не більше. Але вже досить швидко після публікації робіт Проктора\* з’ясувалось, що  $\rho_{d\ max}$  є скоріше за все густина сухого ґрунту на межі розкочування  $\rho_{d\ wp}$ , тобто при  $w = w_p$ , чи, принаймні, дуже близька до неї величина залежно від виду ґрунту, а його стан при цьому знаходиться на межі між твердим і напівтвердим станом зв’язних ґрунтів. Про це йшлося не тільки у прикладних чи

\* Оскільки всі чотири його статті раніше вже згадувались в інших наших роботах, у цій статті з метою економії місця ми в переліку літератури їх не наводили



наукових розвідках 40–50-х рр ХХ століття, але і у раніше чинних нормативних документах, наприклад [5, 6, стор. 8]. У зв'язку із цим краще було б говорити про  $\rho_{d \max}$  (за графіком) не як про найбільше значення показника густини сухого ґрунту, беручи його із зменшуючими коефіцієнтами  $k_{\text{ущ}} < 1,0$ , а навпаки, як про  $\rho_{d \min}$ , застосовуючи до нього збільшуючі коефіцієнти  $k_{\text{ущ}} \geq 1,0$ , якщо ми хочемо не тільки декларувати [7–9] принципи розрахунку дорожніх одягів у пружній стадії деформування ґрунтової основи, а щоб вона (ґрунтова основа) і справді працювала за такою схемою у робочому шарі земляного полотна автомобільних доріг. Але до початку 60-х рр ХХ століття про таке ще не йшлося [7]. Та це тим більш принципово важливо, що реально діючі на ґрунти напруження від котків при спорудженні земляного полотна завжди були дещо більшими ніж за стандартним ущільненням в лабораторії [3, 4].

### Основна частина

Здавалося б, виходячи із зазначеного раніше, від лабораторного методу визначення максимальної щільності взагалі можна було б відмовитись. Але проблема полягає в тому, що як раніше, так і тепер значення такого показника як межа розкошування ( $w_p$ ) є не тільки недостатньо обґрунтованим, але відзначається і невеликою точністю її лабораторного визначення. До речі, це також стосується і лабораторного визначення показника  $w_L$  зв'язних ґрунтів чи то за Аттербергом, чи то за Казагранде, Безруком, чи балансирним конусом. Більш детально питання про це ми розглянемо в іншій нашій роботі. Тут лише відмітимо, що, незважаючи на всі недоліки визначення обох цих показників, їх визначення регламентовано чинним ДСТУ, як і раніше ГОСТ. А з іншого боку зазначимо, що виражати значення показників механічних властивостей ґрунтів, що пов'язані з їх станом, краще стосовно обох меж пластичності, як це прийнято у загально-будівельній практиці [10, стор. 47], а не тільки стосовно одного з них –  $w_L$ , як прийнято у дорожній галузі [8, 9]. І через це тепер виникають такі дивні таблиці як таблиця 9 [11, стор. 19], хоча при всіх наведених там відносних вологостях ( $0,4 - 0,5$ )  $w_L$ , ґрунт знаходиться у твердому стані –  $0,25 < I_L < 0$  або таблиця Д.7 [8, стор. 79], коли при відносній вологості  $0,9w_L$  ґрунти знаходяться у текучо-пластичному стані  $0,75 < I_L < 1,0$ .

Таким чином, ми не пропонуємо відмовитись від лабораторного визначення максимальної щільності, але маємо всі підстави стверджувати про необхідність суттєвого спрощення чинної методики лабораторного визначення максимальної щільності за ДСТУ Б В.2.1–12 і ось чому.

Будучи причетним до спорудження високих ( $\approx 60 - 70$  м), великонапірних гребель Р.Р. Проктор,

як і інші проєктанти і будівельники цих споруд, гостро зіткнулись з питанням “... for compacting soils so that they will be sufficiently watertight and will not become soft and unstable if completely saturated with water” (ущільнення ґрунтів таким чином, щоб вони були достатньо водонепроникними, не розм'якшувались і не переходили у нестабільний стан у випадку повного насичення водою).

Серед ґрунтів, що вони могли використовувати як матеріал для будівництва цих гребель переважали такі легкі різновиди як пілуваті піски, супіски, легкі суглинки і навіть гравіюваті піски, що взагалі вважались малоприсадними для таких споруд. Тому основним завданням будівельників було довести, що при певному ущільненні ці ґрунти є достатньо надійними для будівництва. А головним контрольованим параметром у проведеному дослідженні була інтенсивність фільтрації в ущільненому ґрунті.

Для дослідження фільтраційних властивостей ґрунтів різної щільності і вологості потрібні були, згідно з розробленим обладнанням і методикою випробування, циліндричні зразки досить великих розмірів, що й обумовило розміри і конструкцію форми для ущільнення ґрунтів. Методика фільтраційних випробувань вимагала також великої однорідності густини сухого ґрунту в об'ємі зразків, а це могло бути досягнуто тільки шляхом більш-менш ретельного переминання ґрунту трамбівкою, діаметр якої становив би лише половину діаметра форми. Для якісного приготування зразків такого великого розміру їх ущільнення здійснювали у три шари. Увесь подальший досвід застосування такої методики підготовки зразків як до цих фільтраційних випробувань, так, згодом, і в усіх інших випадках, засвідчив дуже гарну їх однорідність. Про це свідчить також і наш досвід приготування великих зразків, подібних до тих, які готуються для випробування із визначення показника міцності СBR, але які ми використовуємо для інших цілей, про які тут поки що не йдеться. Фактично ці випробування “from consolidation-percolation” були випробуваннями на консолідацію під дією певних навантажень. Відсутність чи наявність додаткового доущільнення чи набрякання таких зразків, внаслідок чого змінювалась би їх висота, слугували підтвердженням правильності вибору досягнутого в процесі механічного ущільнення показника густини сухого ґрунту. Під ці показники також розроблялись і технічні засоби (кулачкові котки), які використовували при спорудженні гребель. Таким чином розміри форми і методика ущільнення зразків за методом Р.Р. Проктора були обумовлені в першу чергу вимогами їх наступних випробувань саме на фільтрацію.

Безумовно, що велика складність ручного приготування зразків за методом Проктора (рис. 1а) негайно викликала необхідність механізації цього

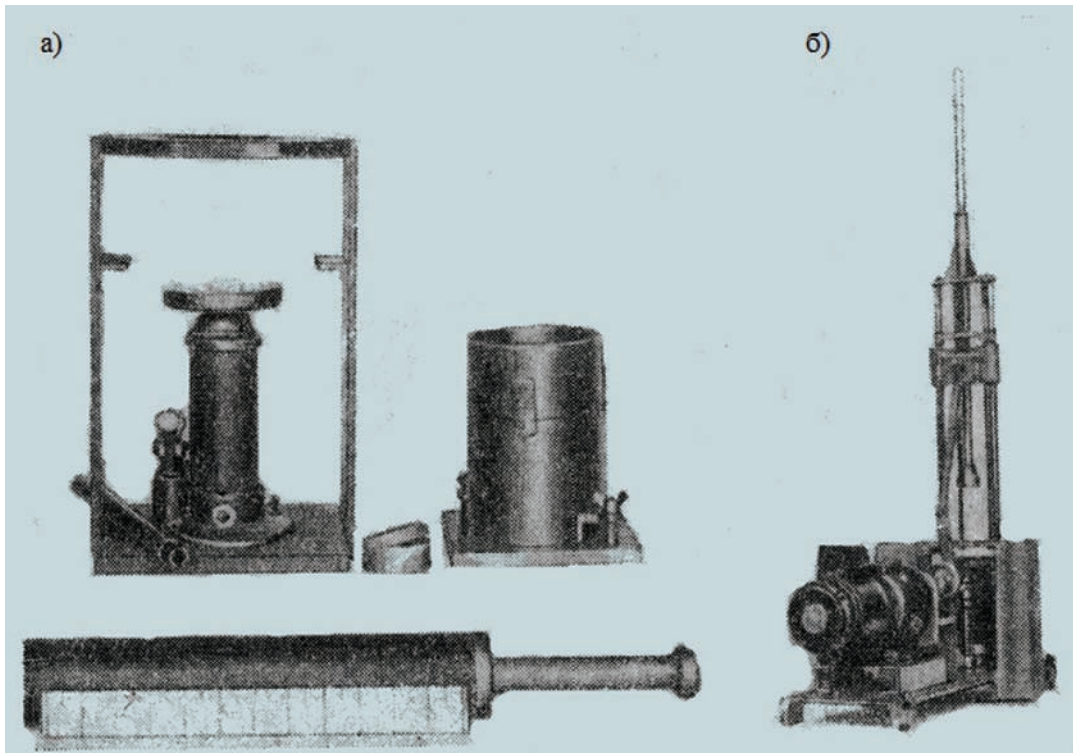


Рис. 1. Прилади стандартного ущільнення: а) перший варіант ручного стандартного обладнання; б) механічний ущільнювач

процесу, що і було досить швидко виконано (рис. 1б). У подальшому було розроблено ще декілька удосконалених модифікацій пристрою для трамбування ґрунтів. Одна із останніх, сучасних, його модифікацій, що наведена на рис. 2, є в лабораторії ґрунтів і земляного полотна ДерждорНДІ.

У результаті випробування на фільтрацію, було визначено, що із збільшенням густини сухого ґрунту величина фільтрації значно зменшується і, що, будь-який навіть гравіюватий ґрунт, за наявності в ньому певної кількості частинок діаметром менше 0,1 мм, може виявитись придатним для спорудження такої греблі. Одночасно було з'ясовано, що при сталій роботі ущільнення, досягнення більшої густини сухого ґрунту відбувається із збільшенням його вологості до певної величини. Але для різних за вагою трамбівок ця вологість різна. І чим потужніша трамбівка тим при меншій вологості досягається більша щільність ґрунту. Та вологість, при якій в ґрунті залишається тільки вода і розчинене у ній повітря й є оптимальною вологістю, а таких вологостей при різних трамбуючих механізмах може бути скільки завгодно багато. Вологість, при якій сформовані зразки вже не дають осадки від найбільших навантажень, що діють на ґрунт у греблі при проведенні випробувань на консолідацію, і стали розглядати як оптимальну за стандартним ущільненням. Таким чином були визначені параметри трамбування зразків, які були ще й додатково уточнені стосовно можли-



Рис. 2. Вигляд сучасного трамбуючого пристрою для підготовки зразків за методом Проктора, AASHO і для випробування на CBR



Рис. 3. Прилади стандартного ущільнення ґрунтів: а) за ДСТУ Б В.2.1–12; б) згідно з СН 25–74; в) той, що пропонується

вості досягнення необхідної щільності ґрунту котками, що використовувались на будівництві. Потрібна густина сухого ґрунту при цьому досягалась за три проходи по одному сліду відносно легких котків, що використовували перед Другою Світовою війною [12, стор. 432].

Розміри форми для стандартного ущільнення за Проктором також тісно пов'язані із методом контролю якості ущільнення ґрунтів на будівництві шляхом використання так названої “голки Проктора” або “голки пластичності”. Незважаючи на певні недоліки такої методики [4, стор. 148] вона широко використовувалась при будівництві згаданих гребель. Суть її полягає в тому, що кожний зразок ущільненого в лабораторії ґрунту тут же випробовувався зануренням в нього вручну штампів малого діаметра. Таку ж процедуру здійснювали і на будівництві, а за порівнянням їх результатів робили висновок щодо якості ущільнення ґрунту. “Голку Проктора” занурювали у зразок на глибину три дюйми (7,62 см) із швидкістю 0,5 дюйма (1,27 см/с). Це також вимагало досить великого розміру зразків. Варто нагадати, що і “Указання ...” [5, стор. 35] і більш пізні, аж до середини 60-х рр, нормативні документи із цього



Рис. 4. Комплектація приладу, що пропонується

питання, що були чинними у 50 – 60-х рр. також рекомендували використання на виробництві аналогічної методики, але вже суто для оцінки вологості ґрунту тільки із використанням ударника Союздорнии (В.І. Волкова). Та ця методика так і не набула широкого застосування.

Таким чином ми з'ясували, що розміри форм для стандартного ущільнення, які використовували як у СРСР (рис. 3а), так і за методом Р.Р. Проктора (рис. 2) тепер не мають принципового значення для визначення максимальної щільності ґрунту так само, як і ущільнення зразків у три шари. Тобто для формального проведення цього випробування із збереженням тих самих значень показників  $\rho_{d\max}$  і  $w_o$  цілком достатньо й одного шару. Одночасно при цьому зберігається й умова можливої присутності у ґрунті фракції з найбільшим розміром до 20 мм. Слід відмітити, що форми менших розмірів вже тривалий час використовували і раніше, наприклад, так названий “малий прилад” для ущільнення згідно з вимогами СН 25–74 [13] (рис. 3б) чи, наприклад, для стандартного ущільнення згідно з СН 449–72 [14, стор. 105].

Перевага приладу, що пропонується – рис. 3в, полягає в тому, що при збереженні діаметра



## ЛІТЕРАТУРА

форми для чинної методики стандартного ущільнення, ущільнення відбувається лише в один шар при його висоті 4 см, кількість ґрунту для якого завжди дуже легко вирахувати ще до випробування. У розкладеному вигляді цей прилад показано на **рис. 4**.

Ще одна перевага запропонованого пристрою полягає в тому, що якщо за ДСТУ Б В.2.1–12:2009 власна маса приладу становить близько 5,5 кг, а разом із ущільненим ґрунтом сягає майже 8,0 кг, то в цьому випадку маса кільки з ґрунтом без основи становить близько 1,0 кг, а разом із основою (при випробуванні сухого піску) лише близько 1,5 кг. Таким чином для проведення випробувань необхідно не тільки менше ґрунту, а і значно менше часу, що дозволяє здійснювати у короткий строк навіть паралельне, повторне випробування. При цьому точки окремих випробувань при побудові графіка стандартного ущільнення розташовуються, зазвичай, без значних відхилень, тобто навіть краще ніж згідно з ДСТУ Б В.2.1–12. І ще однією дуже важливою перевагою пристрою, що пропонується, є можливість його використання при визначенні межі розкочування методом пенетрації, тобто шляхом занурення у ґрунт конуса так само, як і при визначенні верхньої межі пластичності –  $w_L$ . Причому в обох випадках повністю виключається вплив, так названого людського фактора. Але про ці наші дослідження ми розповімо вже в іншій роботі.

## Висновки

1. На сучасному етапі розвитку будівельної галузі нема потреби у використанні великих форм і трамбування зразків у 3 – 5 шарів для лабораторного визначення максимальної щільності як за ДСТУ Б В.2.1–12:2009, так і за методом Проктора або AASHTO.

2. Одночасно необхідно зосередити зусилля на більш об'єктивних, хоча б при формальному виконанні лабораторних випробувань, методах оцінки нижньої і верхньої меж пластичності зв'язних ґрунтів, що в майбутньому можуть бути більш ефективно використані для оцінки стану ґрунтів в їх природному заляганні при інженерно-геологічних вишукуваннях порівняно з чинними буровими роботами (робота над цим ведеться).

3. При лабораторному визначенні максимальної щільності ґрунтів  $\rho_{d \max}$  необхідно брати до уваги, що отримане при цьому значення  $w_o$  (оптимальної вологості) слід розглядати ніяк інакше як розрахункову вологість цього ґрунту у споруді, що забезпечує йому "... достатню водонепроникність, нерозмякшуваність і не переходить у нестабільний стан у випадку повного насичення водою", що ще раз підтверджується у роботі [15].

1. ДСТУ Б В.2.1–12:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010.

2. ГОСТ 22733–77. ґрунти. Метод лабораторного определения максимальной плотности. – М.: Госкомстрой СССР. Изд. стандартов. – 1979.

3. Акрюйд Т. Лабораторные испытания ґрунтов в строительстве / Перевод с англ. под ред. проф. Н.Ф. Орнатского. – М.: Атотрансиздат, 1979.

4. Механика ґрунтов для инженеров-дорожников (ґрунты в дорожном строительстве / Перевод с англ. под ред. проф. В.Ф. Бабкова. – М.: Автотрансиздат, 1957.

5. Указания по уплотнению насыпей и контролю за их воздвижением при строительстве автомобильных дорог. – М.: Дориздат, 1943. – 8 с.

6. Инструкция по определению требуемой плотности и контролю уплотнения дорожных насыпей. – М.: Дориздат, 1956.

7. Материалы всесоюзной межвузовской научно-технической конференции по прочности дорожных одежд. – Харьков, 1968.

8. ВБН В.2.3–218–186–2004. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. – К., 2004.

9. ВБН В.2.3–218–008–97. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів зі змінами та доповненнями. – К., 1997.

10. ДБН В.2.1–10:2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення і проектування. – К.: Мінрегіонбуд, 2009.

11. Хустес Гарсиа Эвелио. Обоснование расчётных показателей ґрунта земляного полотна для расчёта на прочность дорожний одяг нежесткого типа в условиях влажного жаркого тропического климата: Авт. ... канд. техн. наук. – М., 1988.

12. ХОУ. Основи інженерного ґрунтоведения / Перевод с англ. – М.: Стройиздат, – 1986.

13. СН 25–74. Инструкция по применению ґрунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. – М.: Стройиздат, 1975.

14. СН 449–72. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог. – М.: Стройиздат, 1973.

15. Преферансова Л.А. Расчётная влажность ґрунтов земляного полотна и методы её определения // Автомобильные дороги. – 1966. – № 1 – 17 с. 