

ДО ПИТАННЯ НОРМУВАННЯ СТУПЕНЮ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ТА ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЯКОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ

Литвиненко А.С.

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

Чинні зараз в Україні ДБН В.2.3-4:2007 «Споруди транспорту. Автомобільні дороги» відзначається занадто складною схемою нормування вимог (коефіцієнтів ущільнення) до ущільнення земляного полотна – таблиця 6.8 [1]. Ця таблиця є навіть більш складною порівняно з попередніми нормативними документами, наприклад СН 449-72, таблиця 9 [2], де намагались врахувати найбільш характерні конструктивні особливості земляного полотна у їх взаємодії з природним середовищем та типом дорожнього одягу. Прототипом такого дуже диференційованого підходу щодо проектування і будівництва земляного полотна доріг були розроблені у свій час в Німеччині відповідні галузеві норми. Однак, виходячи із сучасного стану розвитку машин і механізмів для дорожнього будівництва, що дозволяє споруджувати земляне полотно швидко, якісно і достатньо дешево, існуючий підхід до нормування показників якості ущільнення ґрунтів треба вважати не тільки застарілим, але і таким, що значно ускладнює саму систему контролю за цим процесом. На основі запропонованого далі аналізу буде показано, що забезпечення всього спектру конструктивних і природних впливів, які діють на земляне полотно, при контролі якості ущільнення ґрунтів цілком достатньо однієї – двох пар характерних параметрів – таких як середнє значення коефіцієнту ущільнення і його нормованої дисперсії (квадратичного відхилення). Але перед тим як перейти до цього аналізу, слід розглянути умови формування вимог до якості земляного полотна.

Як вперше на початку тридцятих років двадцятого століття показав Р. Проктор [3, 4, 5, 6], густина сухого ґрунту, яку можна досягти при одній і тій же кількості роботи (А, Дж), що витрачається на його ущільнення, в значній мірі залежить від вологості ґрунту, при якій здійснюється ущільнення. Тобто графік залежності густини сухого ґрунту від вологості $\rho_d = f(w)$ при А=const має добре виражений максимум (рис.1). Вологість, що відповідає цьому максимуму, назвали оптимальною вологістю – ω_0 , %, а густину сухого ґрунту – максимальною густиною – $\rho_{d\max}$, г/см³.

В результаті великої кількості експериментальних досліджень, узагальнених в роботах [7,8,9,10 та ін.] також з'ясувалось, що оптимальна вологість і максимальна густина при сталій роботі ущільнення суттєво залежать від виду ґрунту, а для одного і того ж виду ґрунту (проби, що досліджується) також і від інтенсивності прикладання роботи, що витрачається на ущільнення. Певні конкретні значення показників оптимальної вологості і максимальної густини сухого ґрунту не є сталими, а тим більше визначальними характеристиками будь-якого ґрунту при його роботі в тих чи інших ґрунтових спорудах. Як це показав Р. Проктор, а слідом за ним і інші дослідники [II], вони є лише технологічними показниками, що дозволяють обмежувати такі важливі для багатьох ґрунтових споруд явища, як процес фільтрації, консолідація і осадка, а також міцність і деформативність ґрунтів, що, в першу чергу, стосується їх роботи саме у дорожніх насипах. Зрозуміло, що чим більш щільним буде ґрунт у ґрунтовій споруді, тим менше буде її осадка і фільтрація води через неї і тим більшою буде її міцність і стійкість. Одночасно із зростанням густини сухого ґрунту зростає важливість питання ефективності роботи ґрунтоущільнювальної техніки і вартості ґрунтоущільнювальних робіт, про що буде сказано далі, та сталості досягнутих показників у часі.

Таким чином, в різних країнах відповідно до діючих там вимог до якості земляного полотна автомобільних доріг, в тому числі і для врахування місцевих природних умов були прийняті і формалізовані у вигляді державних або галузевих стандартів різні підходи до визначення оптимальної вологості і максимальної густини. З часом в переважній більшості країн були прийняті випробування за методом Р. Проктора. Вирішальну роль у цьому відіграла не стільки сутність методу, яка скрізь є однаковою, скільки його реалізація в механічному пристрої, перші модифікації якого з'явилися відразу після оприлюднення досліджень Р. Проктора. Якщо перша ручна трамбівка Р. Проктора була вкрай незручною в користуванні не стільки через необхідність піднімати рукою якийсь, хоч і не дуже важкий вантаж – трамбівку вагою 2,5 кг, то пересування по площі форми трамбівки діаметром удвічі меншим за діаметр форми вже було справжнім випробуванням для лаборантів. В той же час ідея різних діаметрів трамбівки і форми є досить продуктивною, про що буде сказано трохи пізніше, хоча загалом і не вирішує проблеми моделювання процесу ущільнення. Так чи інакше, але саме механізація стандартного ущільнення за Р. Проктором дозволила швидко і безболісно перейти до його модифікованого випробування, що увійшло в науковий і виробничий обіг під назвою методики А.А.С.Н.О [10], згідно якої маса трамбівки збільшувалась до 4,5 кг, висота її скидання до 45 см, а ущільнення зразка ґрунту, що випробовувався, здійснювалось у п'ять шарів. Тобто таке випробування без застосування механізованого приладу було б вже занадто важким для лаборантів. Але в будь-якому випадку це випробування так і лишається формальним і нічого не додає стосовно оптимізації тих чи інших параметрів ущільнення ґрунтів у реальних ґрунтових спорудах.

**ТИПОВИЙ ГРАФІК СТАНДАРТНОГО
УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТУ**

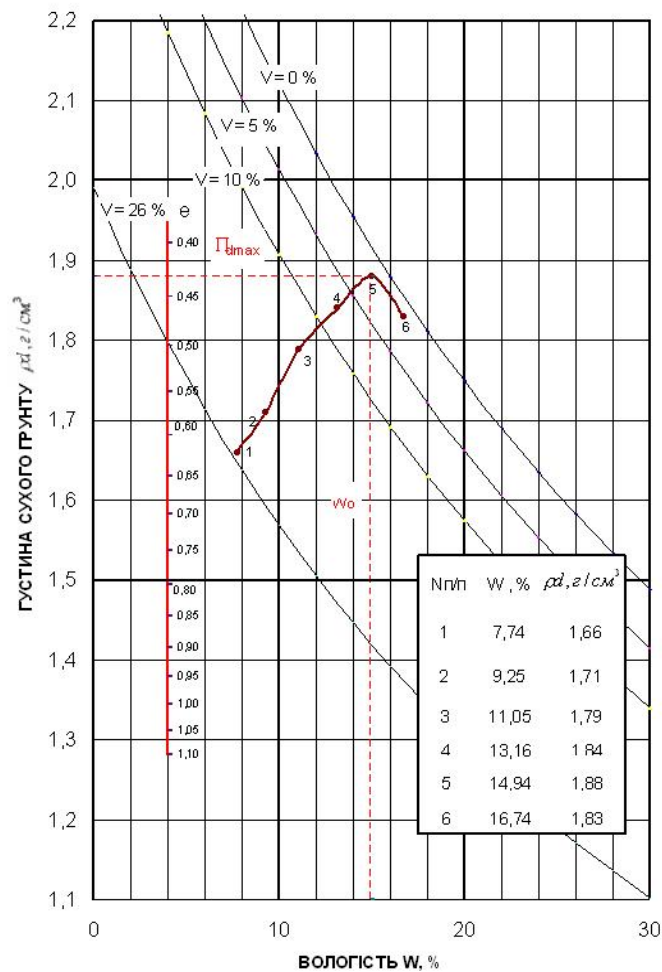


Рис. 1

У Радянському Союзі формальну процедуру визначення максимальної щільності ґрунтів при сталій роботі залежно від їх вологості було реалізовано у ГОСТ 22733. Нею і зараз користуються в Україні і яка, в принципі, не краще і не гірше будь-якої іншої формальної процедури хоча б тим, що теж не має нічого спільного з моделюванням процесу ущільнення і тим самим при її реалізації не можна нічого сказати про вплив на оптимізацію процесу ущільнення: товщини шару ґрунту, що ущільнюється, ваги котка, кількості проходів і швидкості його руху і таке інше.

**ПОРІВНЯННЯ СТАНДАРТНОГО УЩІЛНЕННЯ,
ЩО ЗДІЙСНЮЄТЬСЯ ЗА РІЗНИМИ
МЕТОДИКАМИ**

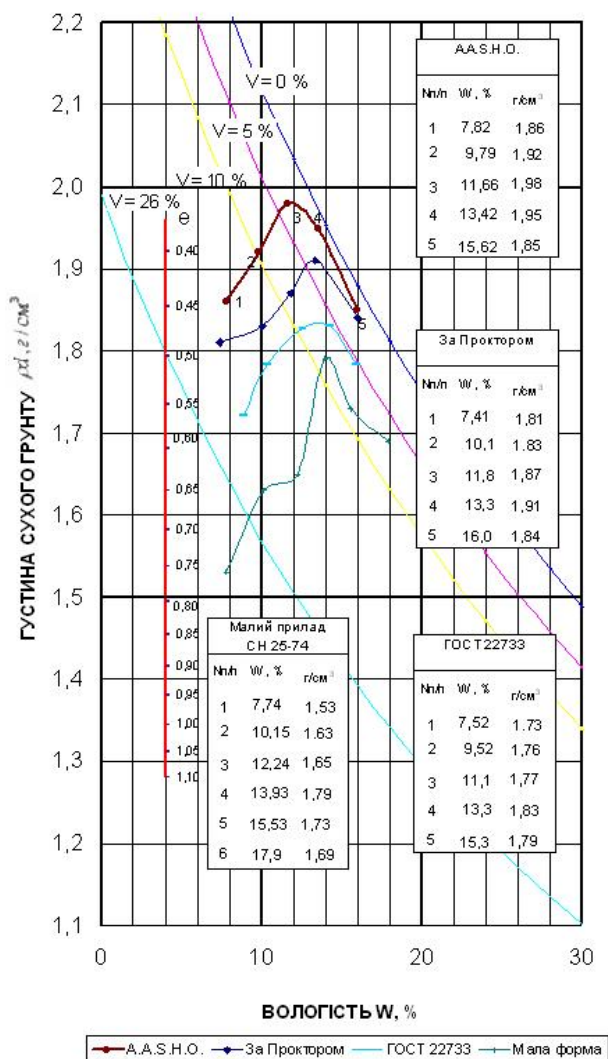


Рис. 2

В той же час між цими двома підходами (по Р. Проктору і по ГОСТ 22733), як вже згадувалось, існує досить принципова відмінність (рис. 2). Якщо розміри форм у яких здійснюється ущільнення, у них майже однакові та і трамбування здійснюється ударними пристроями однієї ваги, що падають із однакової висоти, а ущільнення в обох випадках здійснюється у три шари, та сам цей процес здійснюється по-різному. Так, незважаючи на те, що робота, яка витрачається

на ущільнення ґрунту за Р. Проктором, більш ніж в півтора рази менше, ніж за ГОСТ 22733, (відповідно 183,9 Дж і 294,3 Дж на один шар), отримані при цьому співвідношення максимальних густин сухого ґрунту обернено пропорційні до 1,05 до 1,0 (ГОСТ 22733) при одній і тій же вологості (рис. 2). Про це було відомо, але наявність в лабораторії ґрунтів і земляного полотна Держдор НДІ автоматичної трамбувальної машини для виготовлення зразків за методом Проктора дозволяє самостійно виконувати порівняльні випробування ґрунтів цими різними методами, результати одного з яких і представлено на рис. 2. Різниця в отриманих результатах ущільнення за методом Р. Проктора і по ГОСТ 22733 обумовлено тим, що по ГОСТ 22733 шари ґрунту ущільнюються через шабот, який діє як поршень і тільки стискає ґрунт, в якому не діють великі зсувні зусилля між його частинками. До того ж він має значний опір не тільки від переміщення частинок ґрунту, а й затиснутого між частинками ґрунту повітря. За методом Р. Проктора ґрунт ущільнюється трамбівкою, діаметр якої становить лише половину діаметра форми. В результаті при такому ущільненні активно відбувається процес зсуву частинок ґрунту у різних частинах форми, а повітря вільно витискається з нього, внаслідок чого відбувається не тільки краше, але й більш однорідне ущільнення ґрунту у об'ємі форми. Таким чином, значення густини сухого ґрунту по Р. Проктору навіть із коефіцієнтом ущільнення $K_y = 0,94-0,95$ є більшим ніж $\rho_{d \max}$ по ГОСТ 22733. Відповідно ще більшою є різниця між результатами ущільнення за методикою А.А.С.Н.О. і по ГОСТ 22733, де це співвідношення становить вже 0,92. Але при контролю якості в усіх країнах за мінімальне значення $\rho_{d \min}$ приймається не максимальне значення густини сухого ґрунту, що отримано в результаті формального лабораторного ущільнення, а з певним понижувальним коефіцієнтом $K_{уц \min}$. Наприклад, при випробуваннях за методикою А.А.С.Н.О. мінімальне потрібне значення $K_{уц \min}$ зазвичай дорівнює 0,95. Інша річ, що і в цьому разі це значення все одно лишається більшим ніж $\rho_{d \max}$ по ГОСТ 22733. В рівній мірі це стосується і стандартного випробування по Проктору (рис. 2), де $\rho_{d \max}$ по ГОСТ 22733 менше ніж $0,96 \rho_{d \max}$ за цим випробуванням. Для порівняння на рис. 2 також показано результати ущільнення того ж самого ґрунту на так званому малому приладі для стандартного ущільнення, де об'єм ущільненого зразка становить $\approx 100 \text{ см}^3$, а ущільнення відбувається в один шар згідно рекомендацій СН 25-74 [14], 15 або 25 ударами на один зразок.

А чи можна досягти значень густини сухого ґрунту, отриманої в лабораторії у виробничих умовах. Відповідь на це була дана ще на початку таких досліджень [II]. Так, на будівництві така щільність досягається, і гарантією її досягнення є ущільнювання шарів різних ґрунтів у початковому (пухкому) стані товщиною не більше 24-30 см при кількості проходів по одному сліду не менше 10-12. Поки що не розроблено ні методик, ні критеріїв технології такої оптимізації в лабораторних умовах, і найпростішим виходом із цієї ситуації є метод пробного ущільнення у виробничих умовах, коли для певного ґрунту і типу котка добирається найдоцільніша для цих умов товщина ґрунту, що відсипають у насип, і яка забезпечує найбільшу продуктивність робіт при мінімальних витратах.

Розглянуті вище питання дозволяють впритул підійти, як до нормування ступеню ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг, так і до оцінки якості виконання цих робіт на основі статистичних показників, які є найбільш універсальними і широко застосовуються у багатьох інших галузях матеріального виробництва. В першу чергу звернемось до проблеми визначення виду статистичного розподілу значень густини сухого ґрунту, які можуть бути досягнуті в процесі ущільнення і які всі звикли виражати через коефіцієнти ущільнення по відношенню до стандартного максимального значення у долях одиниці, де $K_{уц \text{сер}} = 1,0$ відповідає $\rho_{d \max}$. Щоб впевнено говорити про реальний вигляд генерального статистичного розподілу, експериментальна вибірка повинна становити близько тисячі вимірів цього показника і бути при цьому репрезентативною. На жаль, в силу складності експериментального

вирішення цього питання ні в Україні, ні деінде немає достатньо обґрунтованих рекомендацій з цього приводу. Враховуючи ж дослідження, проведені в багатьох інших галузях техніки і будівництва, які показали, що більшість тих чи інших показників, що повинні контролюватись, підпорядковуються саме нормальному статистичному розподілу, тому не буде великою похибкою прийняти і в цьому випадку такий самий статистичний розподіл.

Як видно з рис. 2, за середнє значення нормального статистичного розподілу показника ρ_d , г/см³ цілком може бути покладено значення ($K_{уц.сер} = 1,0$), визначене по ГОСТ 22733. Це забезпечує найбільші значення ρ_d з коефіцієнтом до 1,06, а далі проаналізуємо, які найменші значення коефіцієнта $K_{уц.min}$ слід призначити граничними при спорудженні земляного полотна та які відповідно до цього повинні бути нормативні значення дисперсії, що їх слід застосовувати при оцінці якості ущільнення з тим чи іншим відсотком довірчої надійності.

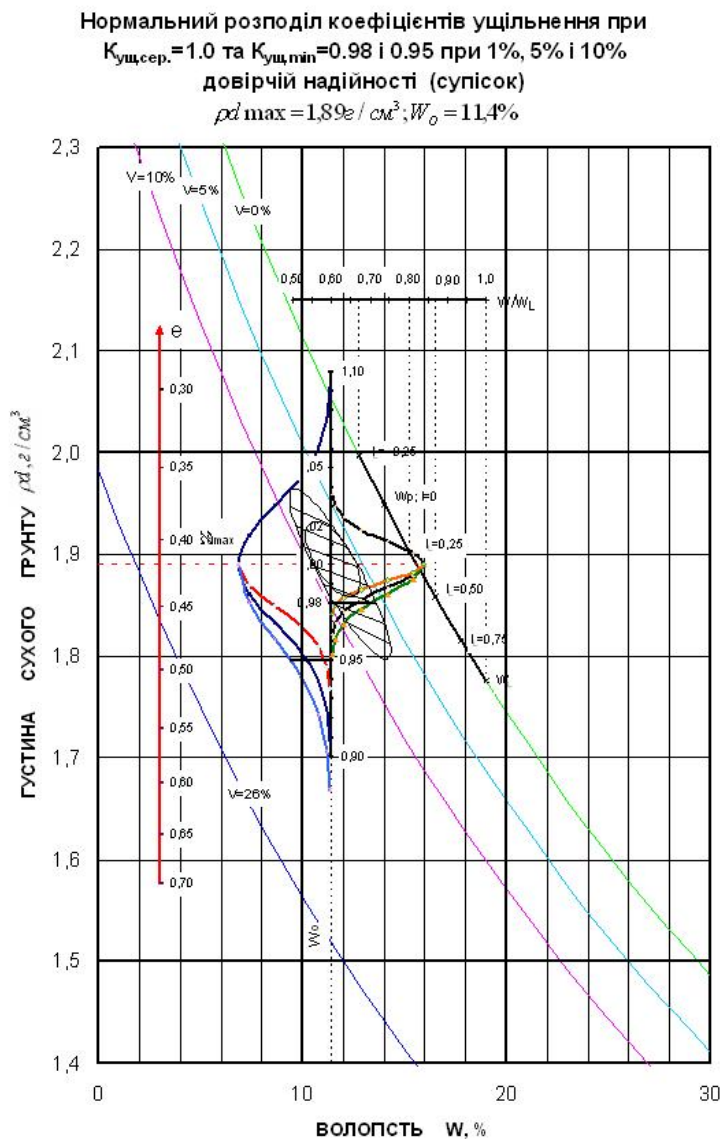


Рис. 3

На рис. 3-6 показано декілька таких нормальних розподілів для крайніх за значеннями показників густини сухого ґрунту, а саме супіску і пісної глини. Як видно з цих графіків, для нормального розподілу і теоретично, і практично не менше половини всіх вимірних значень коефіцієнтів ущільнення, а відповідно і щільності сухого ґрунту при будь-якому мінімальному значенні $K_{уц, \min}$ (0,98; 0,95; 0,93; 0,90) повинно бути не менше $\rho_{d \max}$ ($K_{уц, \text{сер}} = 1,0$).

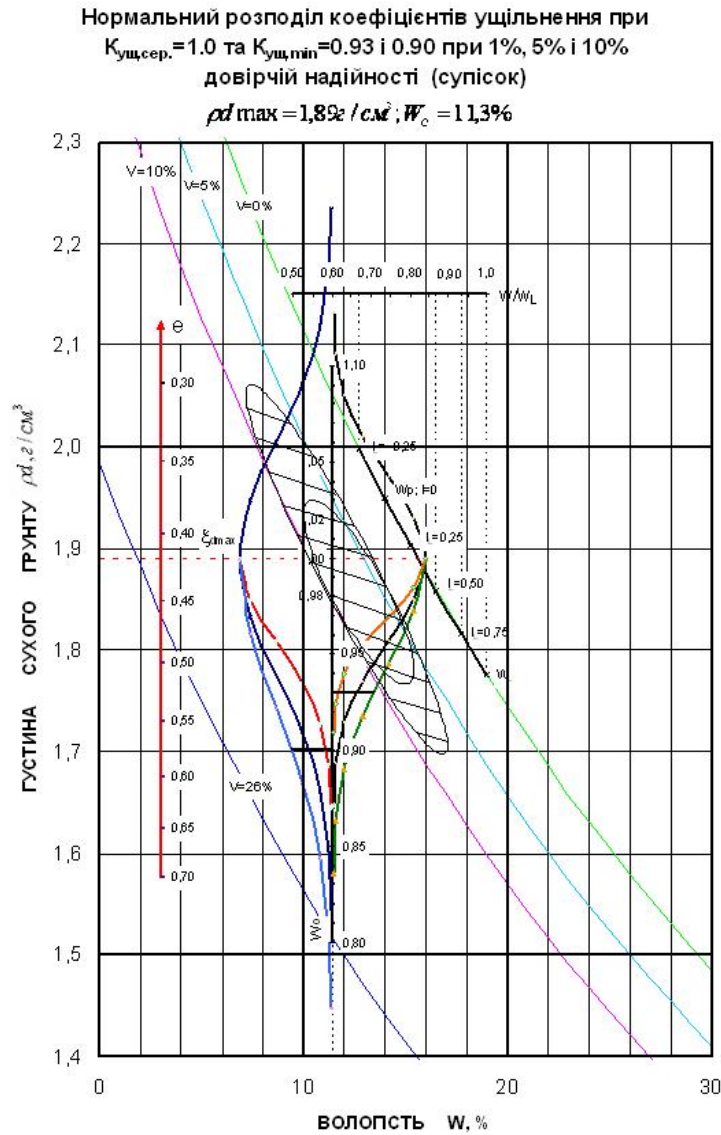
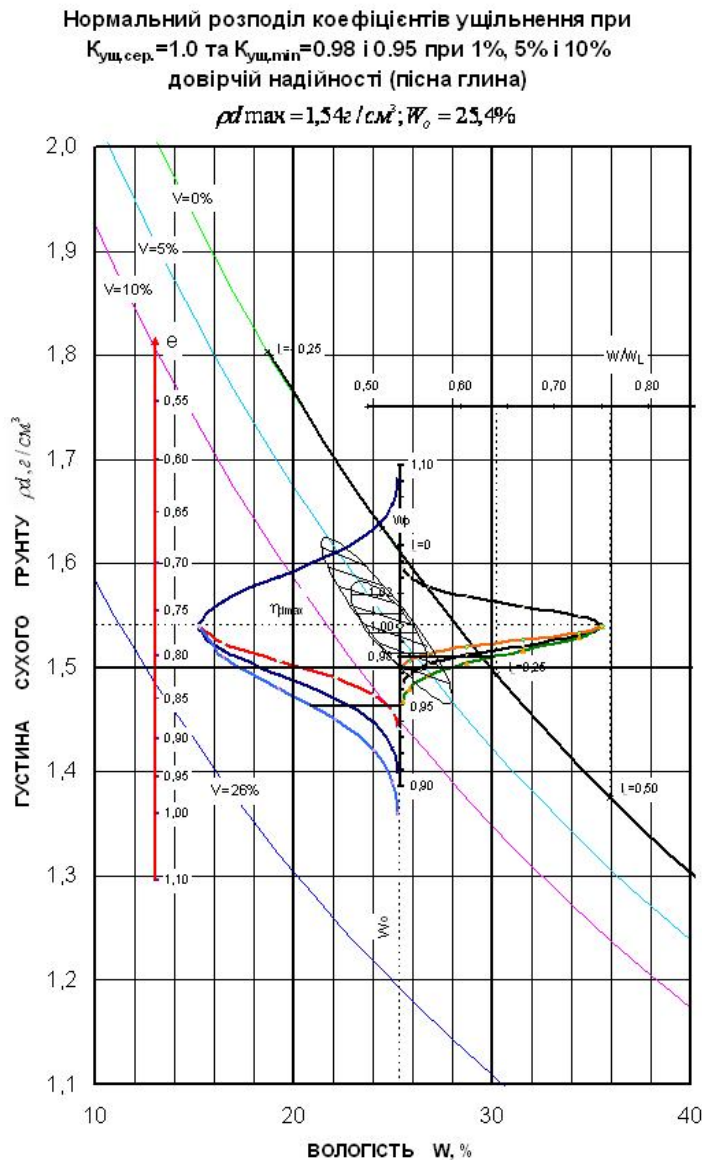


Рис. 4

Найбільший вплив на величину нижньої межі значень має саме нормоване мінімальне значення $K_{уц, \min}$: 0,98; 0,95; 0,93; 0,90. Наприклад: на рис. 3 при $K_{сер} = 1,0$ ($\rho_d = 1,89 \text{ г/см}^3$) і $K_{уц, \min} = 0,98$ ($\rho_d = 1,852 \text{ г/см}^3$), різниця між якими $\Delta\rho_d = 0,04 \text{ г/см}^3$, а при $K_{уц, \min} = 0,95$; ($\rho_d = 1,796 \text{ г/см}^3$) $\Delta\rho_d = 0,19 \text{ г/см}^3$ і нарешті при $K_{уц, \min} = 0,90$ ($\rho_d = 1,701 \text{ г/см}^3$) $\Delta\rho_d = 0,2 \text{ г/см}^3$, що значно збільшує діапазон змінювання ρ_d , а відповідно і неоднорідність земляного полотна за ступенем ущільнення. Все це в рівній мірі стосується і більш важких глинистих ґрунтів

(рис. 5-6). Різниця між розглянутими графіками полягає в тому, що на комп'ютері графіки нормальних статистичних розподілів простіше будувати у показниках вологості як абсциси координатної сітки, що призводить до деякого спотворення її масштабу, у той же час, як для всіх цих випадків вони є однаковими – одиничними.



Іншою особливістю досліджуваних графіків є значення довірчої надійності: 1%; 5%; 10% в даному разі для показника щільності – односторонньої. Чинні нормативи формально дозволяють відхилення менше мінімальних значень: 0,98; 0,95; 0,90 до 10%, що ще більше розширює діапазон ρ_d варіювання значень $K_{уц}(\rho_d)$. Таким чином, чим нижча категорія дороги і слабше дорожнє покриття, тим менші вимоги до земляного полотна, що слід вважати абсолютно неправильним. По-перше, хоч інтенсивність руху по таких дорогах і нижча, однаково одиничні транспортні засоби, що там рухаються, такі ж самі, і тому навіть одиничний проїзд здійснює дуже негативний вплив на більш слабе покриття. Тому при збільшенні густини ґрунтів і тим самим надійності ґрунтової основи підвищується роботоспроможність всієї відносно слабкої дорожньої конструкції. Навіть при руйнуванні такої конструкції її об'єм

у тілі земляного полотна невеликий і легко піддається відновленню, а весь інший об'єм земляного полотна зберігається у доброму стані дуже тривалий час. Більш того, час від часу частина доріг нижчих категорій підвищується до більш високих і, головним чином, за рахунок посилення дорожнього покриття. Недостатньо чи нерівномірно ущільнене земляне полотно, зазвичай, залишається без докорінної переробки, що потім негативно відбивається на стані навіть значно посиленого покриття. Крім того, в загальній мережі доріг переважають насипи висотою до 3,0 м. Таким чином, немає сенсу робочий шар, товщина якого становить 1,5-2,0 м від поверхні покриття, ущільнювати з одним коефіцієнтом, а нижні 1,0-1,5 – з іншим трохи меншим коефіцієнтом. З іншого боку, розвиток дорожньої будівельної техніки, зокрема котків, дозволяє отримувати добре ущільнене земляне полотно з мінімальними витратами. До того ж, як у Сполучених Штатах Америки, так і в Європі вартість ущільнення земляного полотна ніколи суттєво не обмежувалася через вигоди надійної роботи завжди більш дорогого дорожнього одягу [12].

Нормальний розподіл коефіцієнтів ущільнення при
 $K_{ущ,сер.} = 1.0$ та $K_{ущ,мін} = 0.93$ і 0.90 при 1%, 5% і 10%
 довірчій надійності (пісна глина)
 $\rho_{d,мак} = 1,54 \text{ г/см}^3$; $W_0 = 25,4\%$

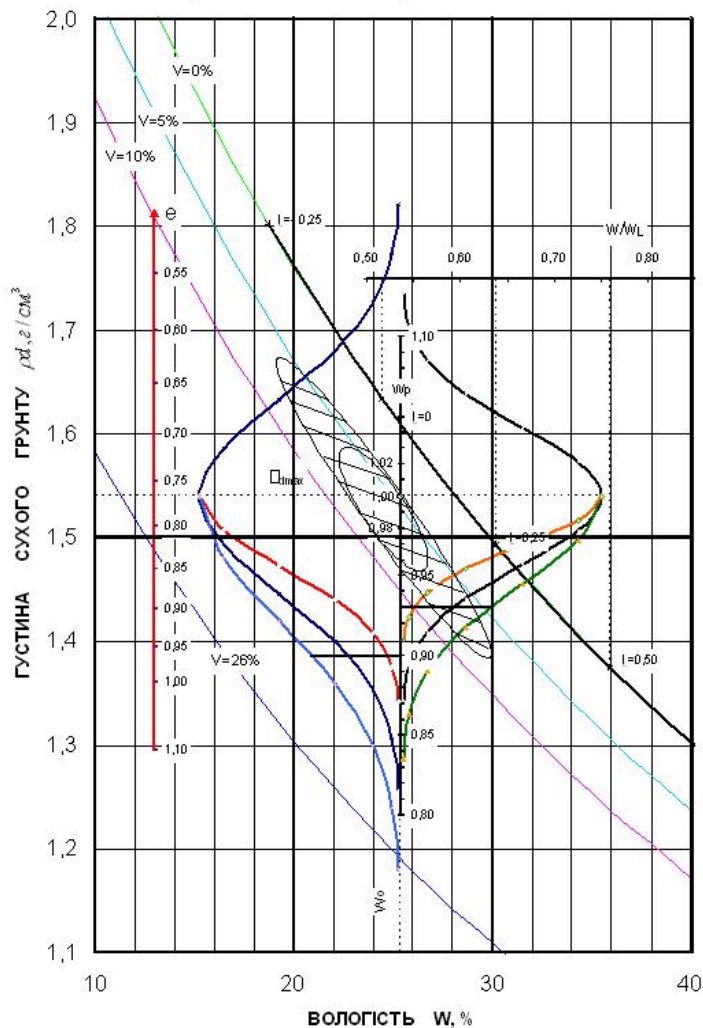


Рис. 6

Відповідно до викладеного пропонується не тільки спростити існуючий підхід у нормуванні вимог до ущільнення земляного полотна, а й перевести його у рамки більш жорстко

формалізованої статистичної оцінки досягнутої якості, коли нормовані значення квадратичних відхилень визначаються за загальноприйнятими формулами типу:

$$\sigma_{\rho d} = \frac{\rho_{d\text{сер}} - \rho_{d\text{min}}}{\alpha}; \quad (1)$$

$$\sigma_{K_{\text{ущ}}}} = \frac{K_{\text{ущсер}} - K_{\text{ущmin}}}{\alpha}; \quad (2)$$

$$\sigma_{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega_{0\text{min}}}{\alpha}, \quad (3)$$

де $\sigma_{\rho d}$; $\sigma_{K_{\text{ущ}}}$; σ_{ω_0} – відповідно значення квадратичних відхилень густини сухого ґрунту, коефіцієнту ущільнення, вологості, що теоретично приймаються за генеральні значення;

α – відхилення значень нормальної випадкової величини від свого середнього значення, виражені в одиницях основного відхилення, тобто для зразкової одиничної нормальної кривої.

Нормальний розподіл відносно W_0 вологості при $W_{\text{min, max}} 0,95-1,05$

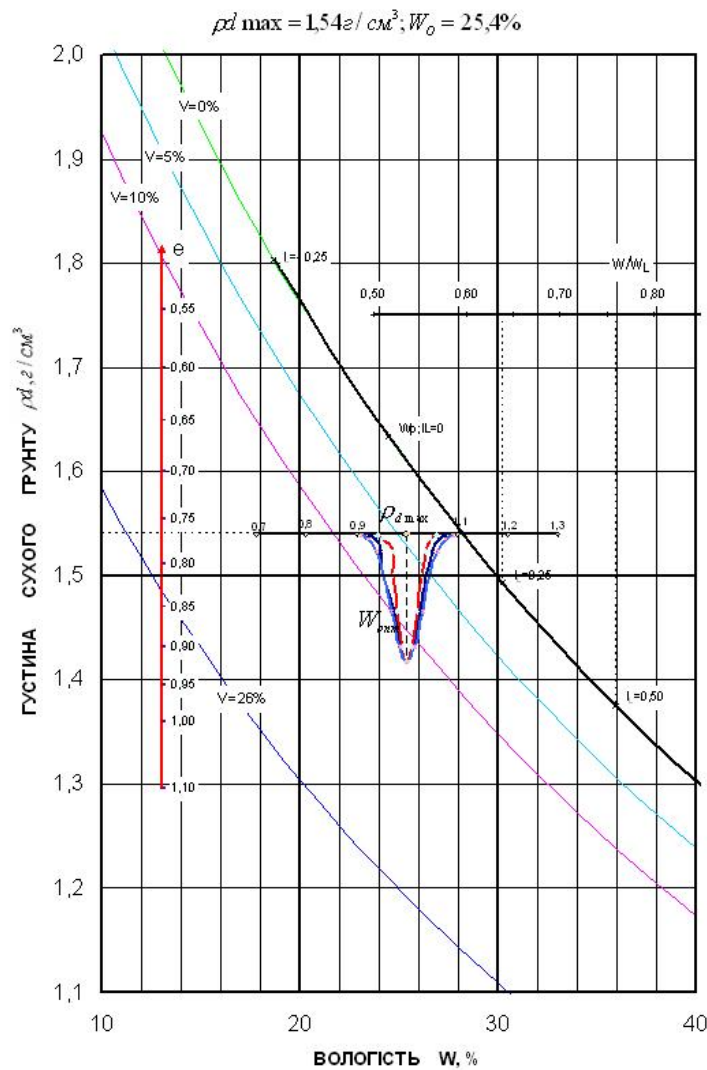


Рис. 7

У закордонній статистичній літературі цей показник має назву зет (Z) оцінки нормальної статистичної вибірки. Цей показник може змінюватись відповідно до прийнятого для певного матеріалу або процесу довірчої надійності чи похибки, наприклад 1%; 5% або 10% при односторонній чи двосторонній довірчій ймовірності. Все викладене в рівній мірі поширюється і на організацію контролю за вологістю ґрунту й оцінку її варіації відносно оптимальної вологості (рис. 7-8). Таким чином, на основі проведеного аналізу слід відмовитись і від таблиці 6.5 [1], обмежившись для всіх видів ґрунтів такими показниками відносної щодо оптимальної вологості як $0,9 \omega_0 - 1,15 \omega_0$. Такий підхід вже пропонувався нами у РСН 337-91 [13].

Нормальний розподіл відносної щодо W_0 вологості при W_{min} , max 0,95-1,05

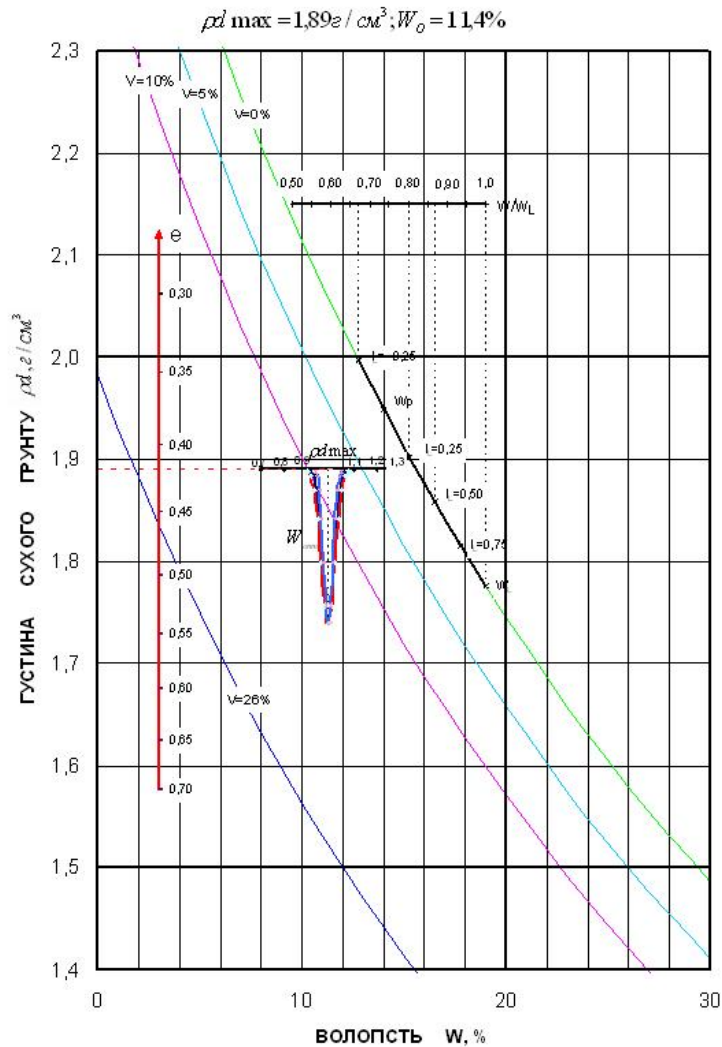
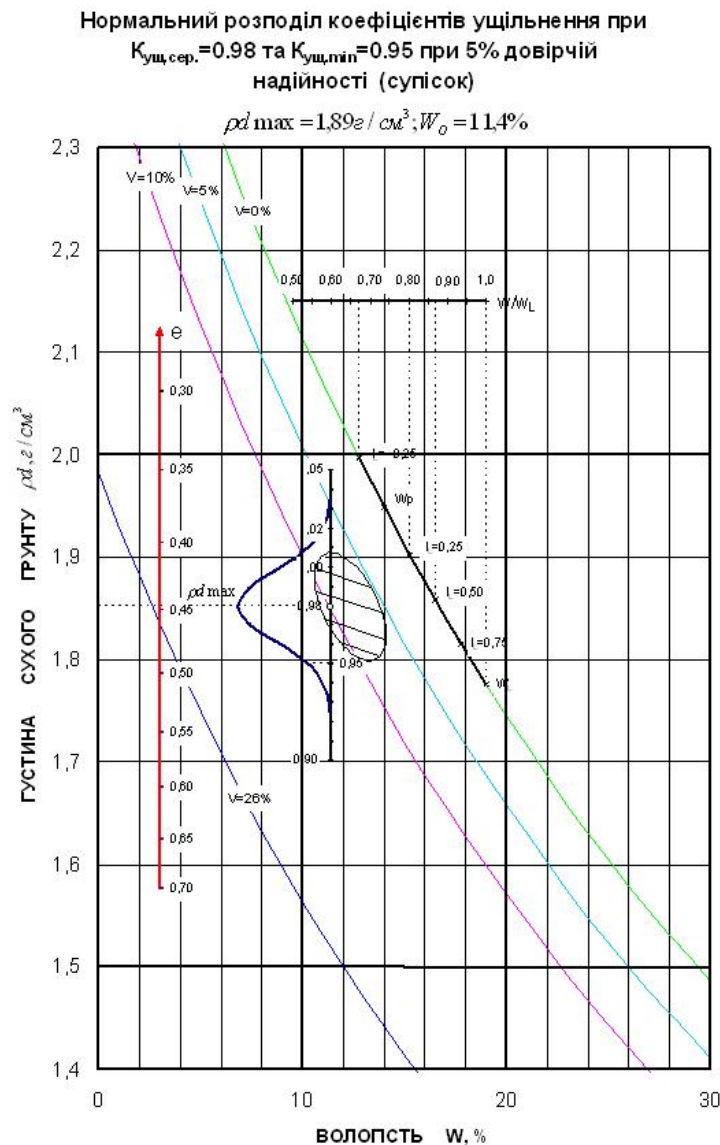


Рис. 8

Більш складною, як і раніше, залишається проблема забезпечення будівельників необхідною кількістю відповідних приладів для оперативного визначення як густини сухого ґрунту, так і вологості. Частково її можна вирішити, користуючись розробленою автором удосконаленою методикою динамічного зондування [15] та відповідно невеликим у цьому випадку приладом

динамічного зондування на глибину до 0,5 м у комбінації з вологоміром М.П. Ковальова або карбідними вологомірами, що дозволяє збільшити кількість вимірів до декількох десятків протягом робочого дня. Обов'язковим повинно стати при контролі якості ущільнення ґрунтів і використання механізованих пробовідбірників, що дозволило б отримувати не менше 10 проб монолітів за зміну.

Заслуговує на увагу прийняте в США нормування ущільнення земляного полотна та інших ґрунтових споруд тільки за видом ґрунтів [12]: “Чем меньше максимальная плотность грунта, тем больше требуемый коэффициент уплотнения. При изменении максимальной плотности от 1,91 до 1,65 г/см³ коэффициент уплотнения повышают от 0,98 до 1,02”. Щоправда, з цієї цитати незрозуміло, чи це стосується, наприклад, середини статистичного розподілу $K_{уц,сер.}$, чи його мінімальної межі $K_{уц,мін}$. Принаймні, це графічно можна виразити так, як показано на рис. 9 і 10.



В зв'язку з цим можна запропонувати при контролю якості ущільнення ґрунтів диференціювати його лише за видом ґрунтів, взявши за основу такі величини:

Нормальний розподіл коефіцієнтів ущільнення при
 $K_{ущ,сер.}=1.02$ та $K_{ущ,мін.}=0.98$ при 5% довірчій
 надійності (пісна глина)
 $\rho_d \text{ max} = 1,54 \text{ g/cm}^3; W_o = 25,4\%$

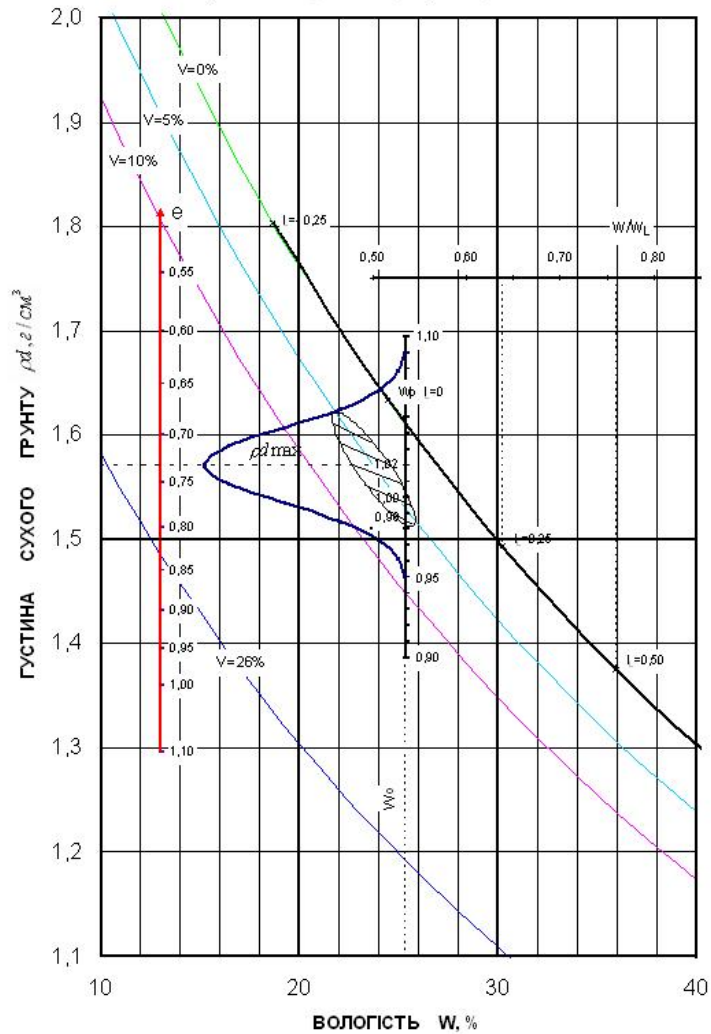


Рис. 10

Таблиця 1 – Орієнтовні нормовані значення коефіцієнту ущільнення і його варіації

Вид ґрунту	$K_{сер}$	$K_{мін}$	σ	K_v
Піски (крім пилуватих)	1,02	0,98	0,024	2,38
Супісок, пісок пилуватий	1,00	0,98	0,012	1,22
Суглинок легкий	1,01	0,98	0,018	1,81
Суглинок важкий	1,02	0,98	0,024	2,38
Глина пісна	1,03	0,98	0,030	2,95
Глина масна	1,04	0,98	0,036	3,51

Переходячи до питання організації контролю якості ущільнення ґрунтів на основі статистичних показників, будемо, як це робилось і у РСН 337-91 (приложение 6, рекомендуемое), здійснювати порівняння експериментальних статистичних показників $X_{сер}$ і S^2 (середнього і дисперсії вибірки) з генеральними (теоретичними) значеннями нормального розподілу $\mu(\rho_{d \max}; K_{ущ}=1,0$ і т. ін) та σ^2 за формулами:

$$t = \frac{X_{сер} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}} \quad (4)$$

$$\chi^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \quad (5)$$

із використанням таблиць відповідних статистичних коефіцієнтів або шляхом їх програмного розрахунку:

де t – коефіцієнт Ст'юдента,

χ^2 – коефіцієнт Пірсона,

μ – генеральна середня,

σ^2 – генеральна дисперсія (таблиця 1),

n – об'єм вибірки (кількість вимірів якогось показника).

Таким чином, для прийняття рішення про відповідність чи невідповідність виконаних робіт нормативним вимогам треба здійснити певну кількість необхідних вимірів і розрахувати для цієї вибірки її статистичні характеристики, які потім порівняти генеральними. В результаті будемо мати не тільки довільний набір значень $K_{ущ}$, а й значення дисперсії такого контролю при певному об'ємі вимірів у виборці (n).

Висновки

1. Прийняті в США, Європі та багатьох інших країнах стандартні випробування за методом Р. Проктора, а тим більше А.А.С.Н.О. свідчать про можливість ущільнення різних видів ґрунтів до значно більших значень $\rho_{d \max}$, ніж за ГОСТ 22733.
2. Такі ж високі показники ущільнення ґрунтів досягаються і на виробництві в звичайних умовах, тобто вони не є чимось недосяжним з технічної точки зору.
3. Відповідно до викладеного аналізу цілком доречно розглядати значення $\rho_{d \max}$, отримані в лабораторії за ГОСТ 22733 як генеральне середнє – μ . А мінімальне значення $K_{ущ \min}$ слід взяти не менше 0,98 з довірчої односторонньою надійністю 5 %. Тобто 95 вимірів із ста повинні бути більше, ніж при $K_{ущ} = 0,98$.

Література

1. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Видання офіційне Мінрегіонбуд України. Київ 2007
2. СН 449-72. Указания по проектированию земляного полотна железных и автомобильных дорог. Стройиздат. – М. 1973
3. Proctor R.R. Fundamentals Principles of Soil Compaction. Engineering News-Record № 9, New York, August 31, 1933.

4. Proctor R.R. Description of Field and Laboratory Methods Engineering News-Record № 10, New York, September 7, 1933.
5. Proctor R.R. Field and Laboratory Verification of Soil Suitability, Engineering News-Record, September 21, 1933.
6. Proctor R.R. New Principles Applied to Actual Dam – Building Engineering News-Record № 10, New York, September 28, 1933.
7. Лебедев А.Ф. Уплотнение грунтов при различной их влажности “Стройвоенморизд.”, 1949.
8. Бирюля А.К., Бирюля В.И., Носич И.А. Устойчивость грунтов дорожного полотна в степных районах. Дориздат. М. 1951
9. Телегин М.Я. // Методы уплотнения дорожных насыпей. “Дориздат” М., 1952
10. Механика грунтов для инженеров-дорожников (грунты в дорожном строительстве) сокращенный перевод с английского под ред. проф. Бабкова В.Ф. “Автотрансиздат” М. 1957 .
11. ХОУ Б.К. Основы инженерного грунтоведения. Перевод с английского под проф. Маслова Н.Н. “Стройиздат”, М.-1966 г.
12. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. // Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. “Транспорт”, М. 1975.
13. РСН. 337-91 Правила применения радиоизотопных и зондировочных устройств для контроля качества уплотнения грунтов. Издание официальное. Госстрой УССР Киев 1991.
14. СН 25-74. Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами, для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов. Стройиздат. М. 1975.
15. Литвиненко А.С. // Удосконалення методики обробки даних, отриманими методами динамічного і статичного зондування ґрунтів / Міжвідомчий науково-технічний збірник “Будівельні конструкції” Вип. 63, Київ НДІБК 2005р. с. 154-162.