

## ЩЕ ДО ПИТАННЯ НОРМУВАННЯ СТУПЕНЯ УЩІЛЬНЕННЯ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Литвиненко А.С.

*Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна*

---

### Вступ

Згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», стаття 10, п.1: «Результати вимірювань можуть бути використані за умов, якщо відомі відповідні характеристики похибок або **невизначеності** вимірювань» [1].

**Невизначеність** – «...**неопределенность** (измерений): Параметр связанный с результатами измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине; **стандартная неопределенность (U)**: Неопределенность результата измерений, выраженная в виде среднего квадратичного отклонения (СКО);» [2].

### Основна частина

Якщо аналізувати дані таблиці 6.8 ДБН В.2.3-4:2007 [3] то тут, як і в усіх попередніх нормативних і довідкових документах з цього питання [4, 5, 6, 7, 8 та ін.], а також і за закордонними нормами йдеться тільки про найменші значення коефіцієнтів ущільнення ( $K_{уц, min}$ ), які за прийнятою домовленістю призначаються як певна частина одиниці, яка, в свою чергу, відповідає показнику, що визначається стандартним випробуванням за відповідним ДСТ [9,10]. Але там (у нормативних документах) нічого не говориться про те, а що ж треба приймати за середнє значення статистичного розподілу показника, що нормується, з яким треба буде порівнювати конкретні вибіркові середні значення, що будуть отримані при контрольних вимірюваннях цього показника і як саме оцінювати якість ущільнення. Можливо, за мовчазною згодою слід мати на увазі, що у кожному конкретному випадку (вид ґрунту) середнім значенням показника буде те значення, яке у відносних оцінках прийняте за одиницю, наприклад:  $\rho_d \max - K_{уц} = 1,0$ ;  $W_o - K_{зв} = 1,0$ ;  $E_d - K_d = 1,0$ , та інші.

При статистичному підході до нормування ступеня ущільнення ґрунтів ці вимоги (таблиця 6.8 [3]) можна представити так, як показано на рис. 1.

Для кожного з цих нормованих статистичних розподілів менше мінімального  $\rho_{dmin}$  при  $K_{уц, min} = 0,98$ ;  $0,95$ ;  $0,90$  і т.ін. повинно бути не більше 10 % результатів вимірювання із 100 %. Але всі вони різняться між собою значенням середнього квадратичного відхилення –  $U$  г/см<sup>3</sup>, яке як і середнє значення розподілу є основним показником якості ущільнення ґрунту. Чим більш гостроверхим є розподіл, тим більш однорідно, а відповідно якісніше ущільненим є ґрунт. Так при  $K_{уц, min} = 0,98$ , що відповідає вимогам до робочого шару, який є безпосередньо основою дорожнього одягу, середнє квадратичне відхилення буде мінімальним, а при  $K_{уц, min} = 0,90$ , який відповідає нижній частині насипу, що не підтоплюється, середнє квадратичне відхилення буде найбільшим, що свідчить про закладену ще у ДБН дуже велику неоднорідність ущільнення ґрунту в цій частині насипу, що в принципі недопустимо. Але інтерпретація статистичних показників, що показані на рис.1, є тільки однією із можливих. Для тих самих мінімальних значень коефіцієнтів ущільнення їх можна представити і так, як показано на рис. 2.

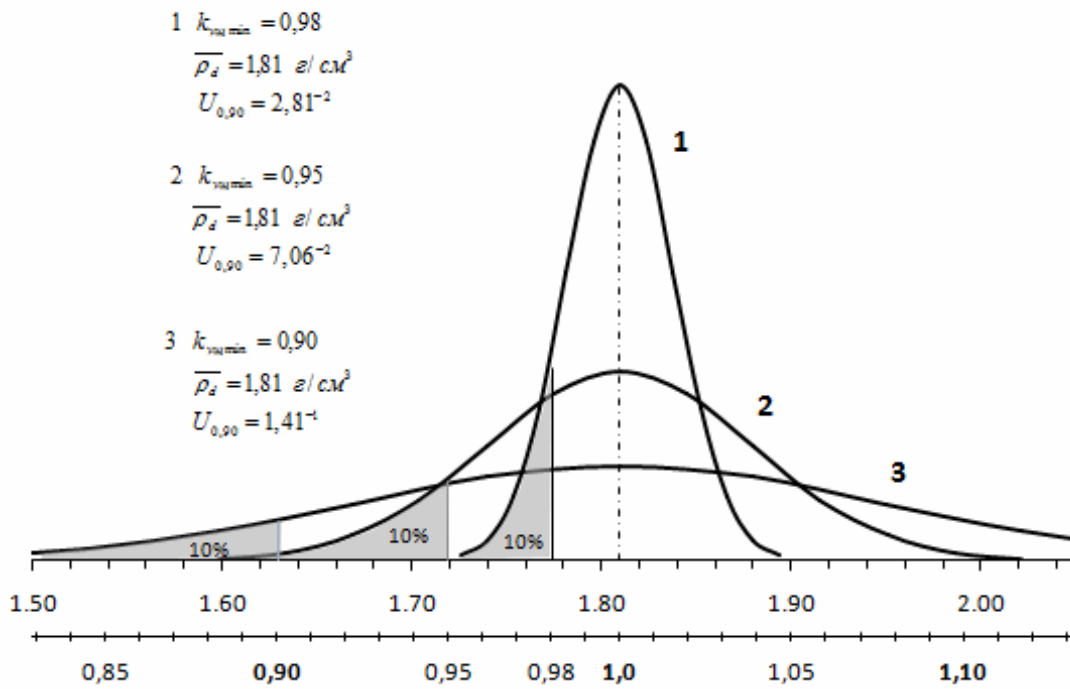


Рис. 1. Вигляд і параметри нормальних статистичних розподілів виходячи тільки із значень  $k_{\text{уц}}$  таблиці 6.8 [3] (Варіант 1)

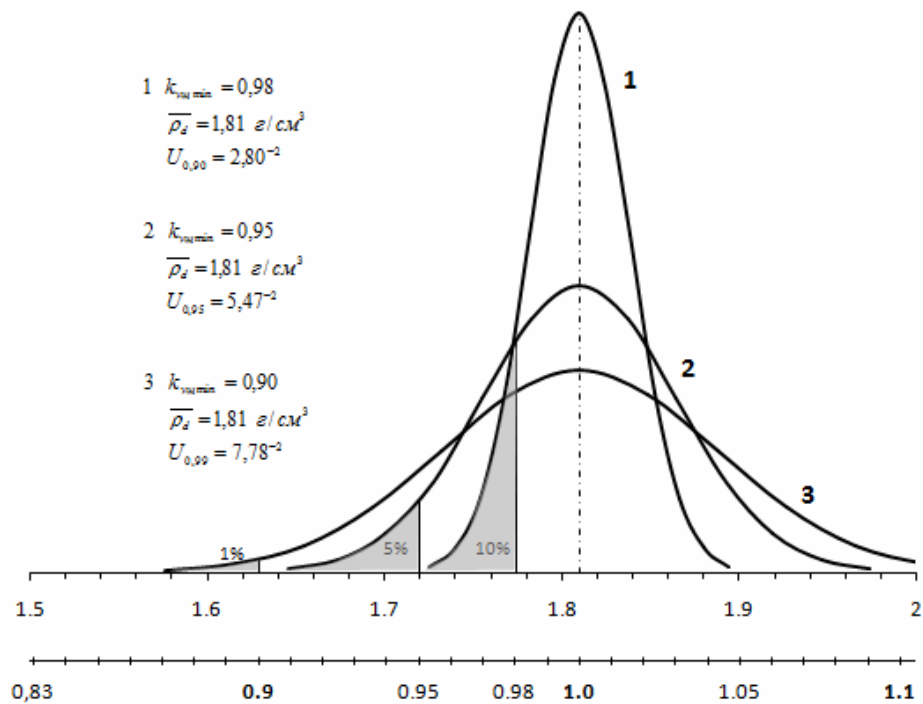


Рис. 2. Вигляд і параметри нормальних статистичних розподілів виходячи тільки із значень  $k_{\text{уц}}$  таблиці 6.8 [3] (Варіант 2)

Таким чином, у будь-якому випадку при  $\bar{\rho} = \rho_{d \max}$  вигляд нормальних статистичних розподілів показує, що в них завжди повинні бути не тільки значення густини сухого ґрунту  $\rho_d$ , менші за  $\rho_{d \max}$ , але і більші за нього. У багатьох може виникнути питання, а чи це можливо? Так, можливо, і навіть обов'язкове. В першу чергу про це свідчать результати досліджень іноземних авторів, вже починаючи з часу першого застосування лабораторного ущільнення за методом Проктора у 30-40 рр. ХХ століття. А результати лабораторного ущільнення за Проктором, незважаючи на певні методичні відмінності, досить добре збігаються з результатами стандартного ущільнення ДСТУ Б В.2.1-12:2009 або ГОСТ 22733-77 і дають навіть дещо більші значення показників  $\rho_{d \max}$  і менші  $w_0$ .

Так, згідно табл. 2.5 [11], яка наводиться у дещо переробленому і скороченому вигляді у таблиці 1, видно, що вже тоді, при існувавшому на той час рівні ґрунтоущільнювальної техніки, у польових умовах зазвичай досягалось ущільнення ґрунту краще за лабораторне ущільнення. Про це ж говориться і в самому тексті цієї роботи стосовно укочування ґрунтів: «Максимальный объёмный вес скелета грунта, который достигается при укатке, был примерно равен или несколько превышал полученный в лаборатории. Работа катков оказалась более эффективной на песках и гравийном материале, где достигнутое уплотнение соответствовало требованиям AASHO».

**Таблиця 1** – Порівняння через коефіцієнти ущільнення  $k_{уц} = \rho_d / \rho_{d \max}$  і відносного зволоження  $k_w = w/w_0$  значень отриманих в польових умовах з отриманими при лабораторних випробуваннях за стандартним ущільненням по Проктору

Тип лабораторного та польового ущільнення	Масна глина		Пилувата глина		Суглинок важкий		Пісок		Гравійна суміш	
	$\rho_d / \rho_{d \max}$	$w/w_0$	$\rho_d / \rho_{d \max}$	$w/w_0$	$\rho_d / \rho_{d \max}$	$w/w_0$	$\rho_d / \rho_{d \max}$	$w/w_0$	$\rho_d / \rho_{d \max}$	$w/w_0$
Стандартне ущільнення	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Каток гладкобарабанний (≈3т)	0,98	0,8	1,06	0,8	0,99	1,14	1,05	0,91	1,04	0,89
Каток гладкобарабанний (≈8т)	1,07	0,8	1,07	0,8	1,01	1,00	1,09	0,73	1,07	0,78
Каток на пневматичних шинах	1,01	1	1,00	1	0,94	1,14	1,05	1,00	0,98	0,78
Кулачковий каток	1,10	0,6	1,12	0,7	1,03	0,86	–	–	1	0,67
Трамбівка вибухової дії	1,10	0,7	1,06	0,7	1,01	0,93	1,06	0,91	1,06	0,78

Аналогічні висновки при порівнянні результатів лабораторного ущільнення за Проктором і у полі робить і Б.К. Хоу [12]: «Принимают, что получаемая при этом плотность грунта (по Проктору) приблизительно эквивалентна плотности, которая могла бы быть достигнута в полевых условиях после трёх проходов по уплотнённому слою грунта относительно лёгких катков, бывших в употреблении перед второй мировой войной». Ще відвертіше з цього питання висловлюється Т. Акройд [13] «На многих стройках было установлено, что максимальная плотность при соответствующей оптимальной влажности, определенная в лабораториях, оказалась слишком малой для полевых условий, поэтому AASHTO (объединение дорожных учреждений США) выработала и стандартизовало так называемое видоизмененное испытание на уплотняемость. В этом испытании работа уплотнения увеличена путём увеличения веса трамбовки с 2,5 до 4,5 кг, а высота её падения с 30 до 45 см». Слід додати, що при цьому кількість шарів, які ущільнювались у тій самій за об'ємом і розмірами формі зростає з трьох до п'яти, що забезпечило ще більший ступінь ущільнення ґрунтів. До цього лише можна додати, що, як нам відомо, у сучасній закордонній практиці дорожнього будівництва, зокрема у Польщі, для робочого шару мінімальне значення коефіцієнта ущільнення дорівнює одиниці, тобто  $\rho_{dmin} = \rho_{dmax} = 1$ . Більш того, навіть у таблиці 2.3 [14] йдеться про коефіцієнти ущільнення значно більші за одиницю. Таким чином, можна зробити висновок, що призначення середини статистичного розподілу при контрольній якості ущільнення на рівні  $k_{yщ} = 1,0$  є цілком обґрунтованим і доцільним. Але в той час, як вигляд наведених на рис. 1,2 статистичних розподілів з  $k_{yщ min} = 0,98; 0,95$  є досить реальний, то використання всіх інших значень  $k_{yщ min}$  взагалі не можна вважати доцільним.

Ще більш недоцільними є вимоги до можливих статистичних розподілів, наведено у табл. 22.1 [3] стосовно того, що не більше 10% результатів вимірів можуть мати відхилення від **проектних значень коефіцієнтів ущільнення в бік зменшення до 2 %**, решта не нижче проектного значення. Як би там не було, але ця вимога автоматично переносить середину розподілу із  $k_{yщ} = 1,0$  до всіх інших мінімальних значень коефіцієнтів ущільнення. До того ж пояснення, що до 2 % в бік зменшення тотожне ще одному зменшенню коефіцієнта ущільнення, подібного до прийняття значення  $k_{yщ} = 0,98$  для робочого шару. Якщо представити всі ці вимоги у графічній інтерпретації, то вони будуть мати вигляд розподілів, показаних на рис. 3. Як видно з цих розподілів, прийняття за середнє значення значення густини сухого ґрунту з коефіцієнтом ущільнення  $k_{yщ} = 0,98$  значно зменшує ступінь ущільнення ґрунту в насипу, не кажучи про всі інші значення мінімальних коефіцієнтів ущільнення, використання яких в принципі знижує саму ідею штучного ущільнення ґрунтів.

Характерно, що і на побутовому рівні ці мінімальні значення показників густини сухого ґрунту і відповідні їм значення коефіцієнтів ущільнення сприймаються не як найменші і до того ж такі, що досить рідко ( $\sigma = -1,281; \leq 10\%$ ) повинні зустрічатись в контрольних розподілах, серединою якого є  $\rho_{dmax}$  ( $k_{yщ} = 1,0$ ), а саме, як характерне середнє значення показника щільності для певної ґрунтової конструкції або елемента земляного полотна ( $\sigma = 0; \leq 50\%$ ), хоча це в принципі неправильно. Підтвердженням такого неправильного трактування цього мінімального значення показника ущільнення як певного середнього значення параметру, що контролюється, навіть у нормативних документах, є табл. 6.5 та 6.10 [3].

Наостанок можна тільки відмітити, що через брак у чинних нормативних документах об'єктивного статистичного механізму оцінки результатів ущільнення по контрольних виборках шляхом порівняння заданої і фактичної вибіркової середньої густини сухого ґрунту оцінка якості здійснюється шляхом прямого безпосереднього порівняння значень коефіцієнта ущільнення для кожного окремого виміру із мінімальним нормативним, що також є неправильним. Таким чином у складі як і цього нормативного документа, так і його попередників [4, 5, 6, 7, 8 та ін.] з одного боку наведено вимоги, що заперечують можливість одночасного існування одне одного, а з іншого боку у них відсутні будь-які конкретні вказівки,

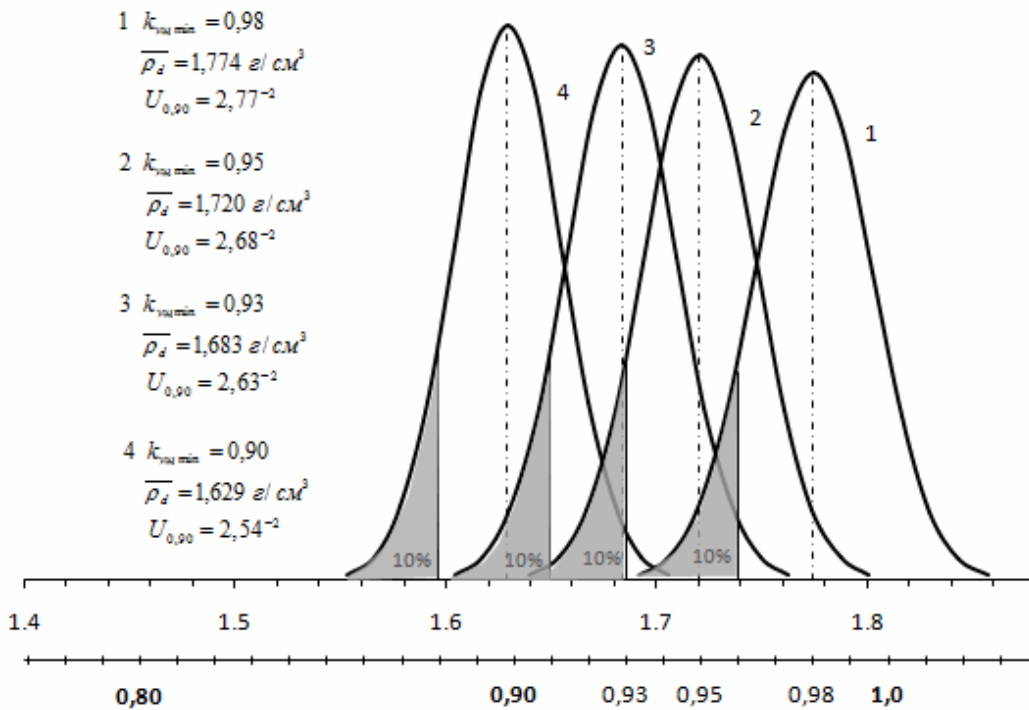


Рис. 3. Вигляд і параметри нормальних статистичних розподілів відповідно до вимог таблиці 22.1 [3]

як же реально призначати і сам генеральний (в даному разі – **директивний**) розподіл можливих значень густини сухого ґрунту або будь-якого іншого параметру, що контролюється, тобто його середнє значення, і значення середнього квадратичного відхилення, з якими буде здійснюватись порівняння аналогічних параметрів кожної контрольної вибірки, **так і механізм самого порівняння**.

Виходячи із згаданого, доходимо висновку, що серединою **директивного**, тобто заданого нормального розподілу значень густини сухого ґрунту при контролі якості ущільнення повинна бути саме максимальна густина сухого ґрунту  $\rho_{d \max} = \bar{\rho}_d$ ;  $K_{y_{\text{min}}} = 1,0$ , що визначається відповідним лабораторним випробуванням [9]. Мінімальне значення густини сухого ґрунту при контролі якості визначаємо як завжди

$$\rho_{d \min} = \bar{\rho}_d \times K_{y_{\text{min}}} \quad (1)$$

Тоді **директивне** середнє квадратичне відхилення розраховуємо за формулою:

$$U = \left| \frac{\rho_{d \min} - \bar{\rho}_d}{n\sigma} \right|, \quad (2)$$

тут  $\sigma$  – квадратичне відхилення **нормованого** (одиночного) нормального розподілу. Його значення можуть змінюватись від  $n = -3,0$  до  $n = +3,0$ , або просто у інтервалі  $-3,0\sigma - +3,0\sigma$ . За іноземною статистичною термінологією це так звані Z-оцінки нормального статистичного розподілу.

Залежно від параметра що оцінюється ( $\rho_d$ ;  $W$ ;  $E_d$  і т.ін.) це нормоване відхилення може задаватись одно – або двосторонньою довірчою ймовірністю, тобто кількістю

вимірів параметра, виражених у долях одиниці (0,95; 0,99; і т.ін.) або у відсотках (95 %; 99 %; і т. ін), які повинні знаходитись у заданому інтервалі, межі якого відповідають певним значенням  $\sigma$  ( $n\sigma$ ).

Розглянувши механізм розрахунку головних статистичних показників **директивних** розподілів  $\overline{\rho_d}(\mu)$  і  $U$ , перейдемо до процедури статистичної оцінки якості ущільнення ґрунту на основі порівняння середніх значень і значень середніх квадратичних відхилень контрольних (дослідних) вибірок із **директивними** (генеральними). Це здійснюється шляхом розрахунку експериментальних значень коефіцієнтів Ст'юдента і Пірсона за формулами:

$$t_e = \left| \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n} \right| \quad (3)$$

$$\chi_e^2 = \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \quad (4)$$

і їх порівнянням із табличними, наприклад [15], нормованими значеннями цих показників, при відповідних довірчій ймовірності (0,99 або 0,95) і фактичній кількості вимірів у вибірці.

У формулах (3) і (4)  $\mu$  і  $\bar{X}$  – середні значення показників  $\rho_d$  **директивного** і вибіркового розподілів;  $U^2$  і  $S^2$  – дисперсії **директивного** і вибіркового розподілів, а  $n$  – кількість вимірів у вибірці.

Розглянемо процедуру призначення параметрів **директивного** нормального розподілу густини сухого ґрунту і оцінки якості його ущільнення, скориставшись даними прикладу № 1 (розділ 3.4 стор. 41) [16], тільки прийнявши до уваги, що там виконувався приблизний розрахунок, тому що середнє значення контрольної вибірки бралось як медіана ранжированого ряду значень  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup>, а тут – точний. Згідно цього прикладу  $\rho_{d \max} = 1,89$  г/см<sup>3</sup>;  $K_{\text{ущ. min}} = 0,98$  (верхній шар земляного полотна). Контрольна вибірка складається із 13 значень густини сухого ґрунту,  $\rho_d$ : 1,88; 1,82; 1,84; 1,90; 1,85; 1,88; 1,87; 1,93; 1,83; 1,80; 1,88; 1,89; 1,89 г/см<sup>3</sup>. Для неї  $\overline{\rho_d} = 1,866$  г/см<sup>3</sup> і  $S = 3,618 \cdot 10^{-2}$  г/см<sup>3</sup>.

Оскільки при спорудженні земляного полотна автомобільних доріг необхідно обмежувати тільки мінімальні значення показника  $\rho_d$ , а не і максимальні, які і так важче досягти, при виборі значення **директивного** квадратичного відхилення необхідно приймати односторонню довірчу ймовірність з боку мінімальних значень  $\rho_d$ . Але через те, що вимоги до робочого шару, задані коефіцієнтом ущільнення 0,98, вже самі по собі є досить жорсткими, то при розрахунку значення **директивного** квадратичного відхилення задаємося довірчою ймовірністю не на рівні 0,99 ( $\sigma = -2,326$ ), а тільки на рівні 0,95 ( $\sigma = -1,645$ ), тобто не менше 95 % вимірів із 100 % повинні мати значення, більші мінімального рис. 4.

Таким чином  $\rho_{d \min} = 1,89 \times 0,98 = 1,852$  г/см<sup>3</sup>, а середнє квадратичне відхилення для **директивного** розподілу значень показника  $\rho_d$  буде

$$U_{0,95} = \left| \frac{1,852 - 1,89}{-1,645} \right| = 2,31 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^3$$

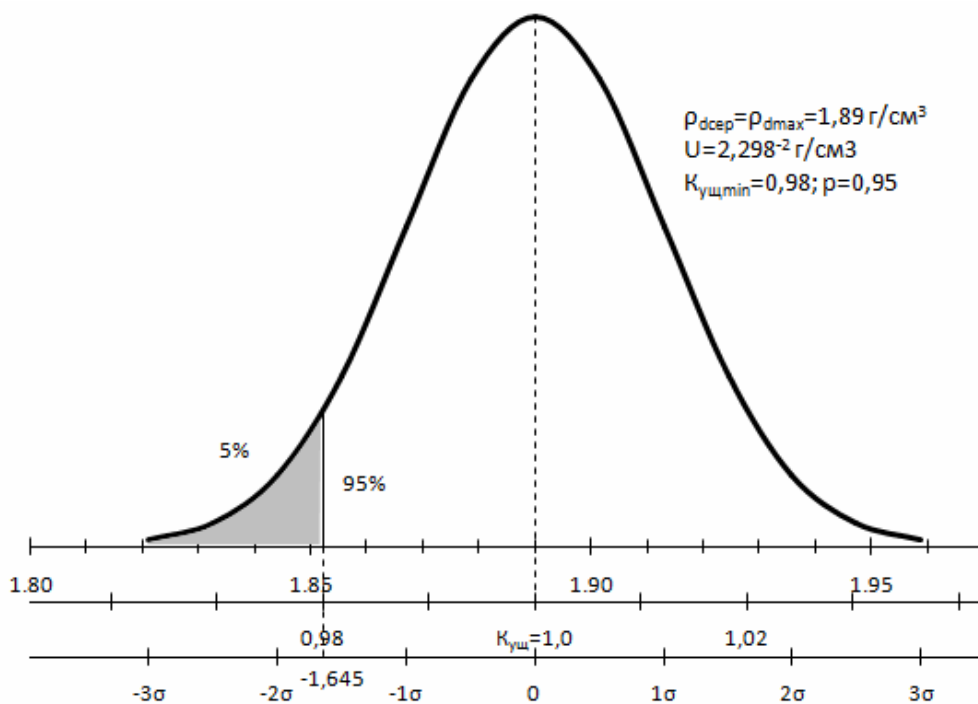


Рис. 4. Схема призначення **директивного** нормального розподілу густини сухого ґрунту -  $\rho_d$ ,  $\text{г/см}^3$  для оцінки якості ущільнення робочого шару земляного полотна

Шляхом традиційного формального порівняння отримуємо  $K_{\text{уц,шару}} = 1,866:1,89 \approx 0,99 > 0,98$ . Здавалось би, що все дуже добре. Насправді, статистичне порівняння відповідних показників вибірки з **директивними** значеннями дає такий результат

$$\left. \begin{aligned} \ominus t_r &= \frac{1,89 - 1,866}{2,31 \cdot 10^{-2}} \sqrt{13} = 3,74 > t_{\alpha} = 1,782 \\ \ominus \chi_r^2 &= \frac{(13 - 1) \cdot 1,309 \cdot 10^{-3}}{5,336 \cdot 10^{-4}} = 29,44 > \chi_{\alpha}^2 = 21,03 \end{aligned} \right\} \alpha = 0,95$$

Знак мінус перед рівняннями означає, що досягнутий ступінь ущільнення і однорідності ущільнення ґрунту з ймовірністю 95 % не відповідає вимогам ущільнення робочого шару, а згідно [16] ця якість оцінюється, як задовільна – «удовлетворительно», що в принципі теж погано (рис. 5). Аналогічний незадовільний результат отримали і при ймовірності 99 % і навіть 99,5 %.

Так само нескладно перевірити, чи задовольняють результати контрольної вибірки якості і однорідності ущільнення необхідних для інших конструктивних елементів земляного полотна, які, наприклад, відповідають мінімальному коефіцієнту ущільнення  $K_{\text{уц,мін}} = 0,95$ , але вже при односторонній довірчій ймовірності на рівні 99 % ( $\sigma = -2,326$ ). Для цих умов

$$\rho_{d \text{ min}} = 1,89 \times 0,95 = 1,796 \text{ г/см}^3,$$

$$U_{0,99} = \left| \frac{1,796 - 1,89}{-2,326} \right| = 4,04 \cdot 10^{-2} \text{ г/см}^3.$$

Тобто дозволяється більша неоднорідність, а тим самим і менша якість ущільнення ґрунту (рис. 6) при одному й тому ж середньому значенні.

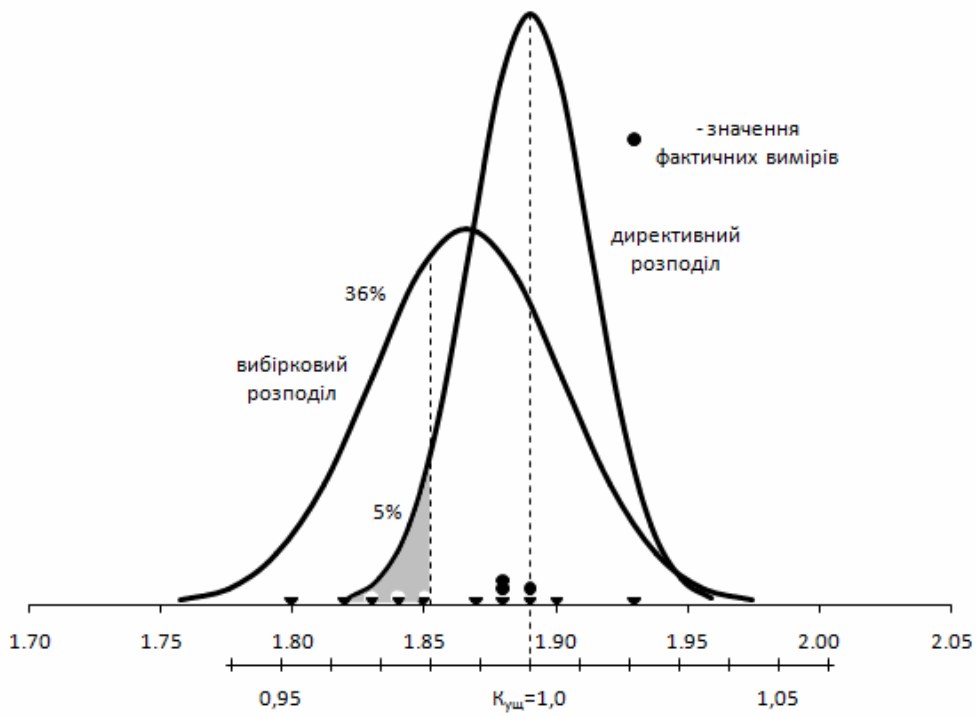


Рис. 5. Вигляд нормальних статистичних розподілів при порівнянні вимог до уцілювання робочого шару  $\rho_{d\text{сер}} = 1,89 \text{ г/см}^3$ ,  $S = 2,298^2 \text{ г/см}^3$  ( $K_{\gamma\text{щ}} = 0,98$ ;  $p = 0,95$ ) із однією із вибірок фактичних вимірювань ( $\rho_{d\text{сер}} = 1,866 \text{ г/см}^3$ ,  $S = 3,618^2 \text{ г/см}^3$ )

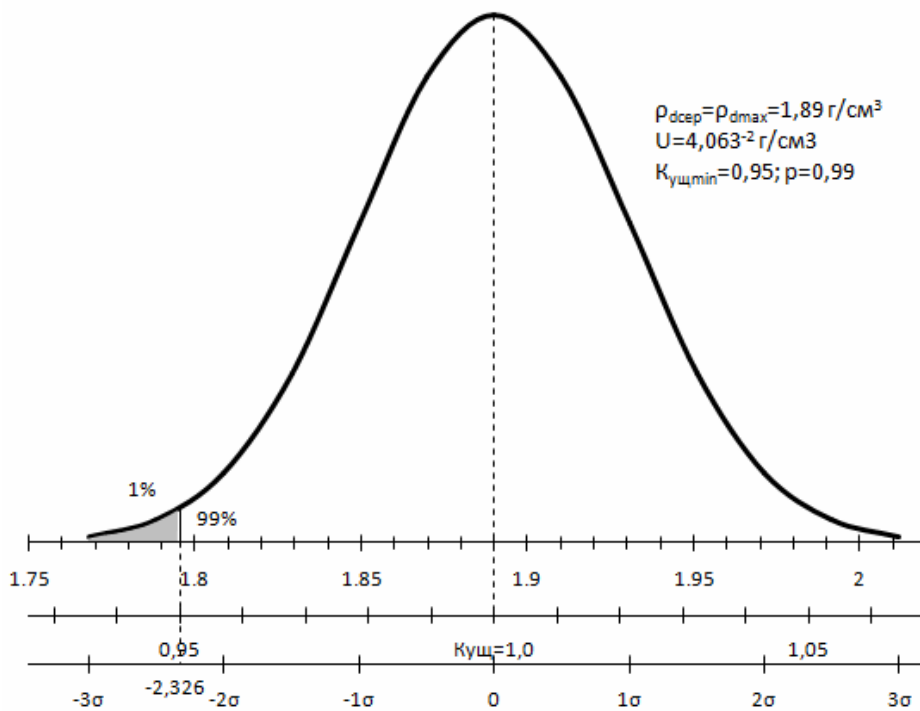


Рис. 6. Схема призначення **директивного** нормального розподілу густини сухого ґрунту –  $\rho_d$ ,  $\text{г/см}^3$  для оцінки якості уцілювання земляного полотна поза межами робочого шару



За статистичним порівнянням

$$\left. \begin{aligned} \ominus t_p &= \frac{1,89 - 1,866}{4,04^{-2}} \sqrt{13} = 2,14 > t_{\alpha} = 1,782 \\ \oplus \chi_p^2 &= \frac{(13 - 1) \cdot 1,309^{-2}}{1,632^{-1}} = 9,82 < \chi_{\alpha}^2 = 21,03 \end{aligned} \right\} \alpha = 0,95$$

Знак мінус перед першим рівнянням означає, що при ймовірності 95% розходження між середніми значеннями **директивного** і вибіркового розподілів є суттєвим, і якість ущільнення недостатня. А знак плюс перед другим рівнянням свідчить про задовільну неоднорідність отриманих значень вимірів. При ймовірності ж 99% розходження середніх також можна вважати задовільним рис. 7.

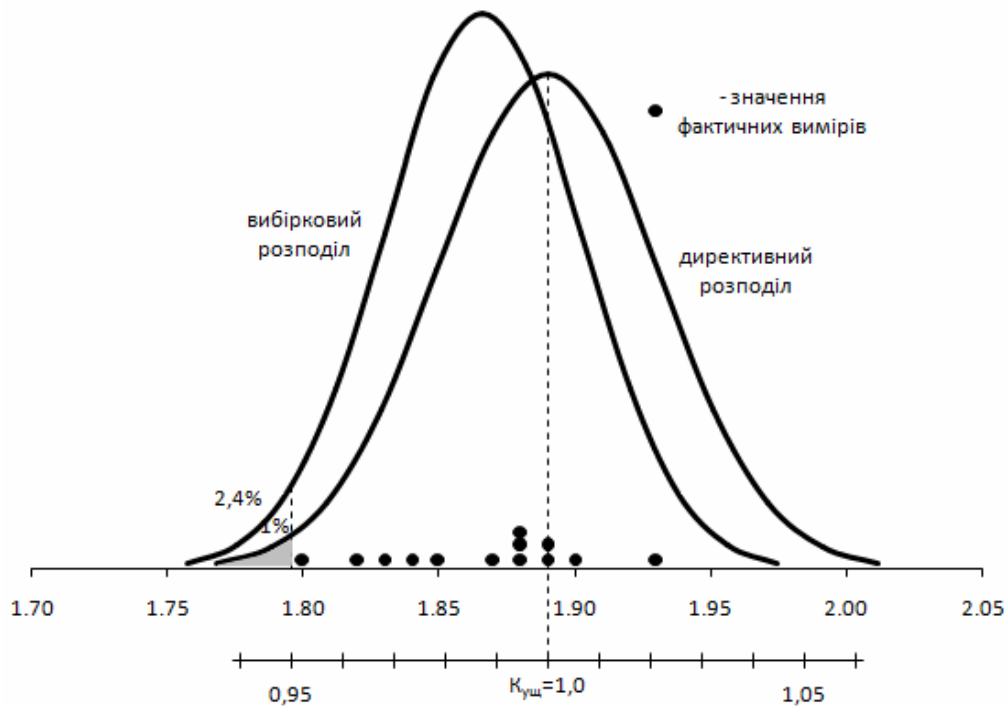


Рис. 7. Вигляд нормальних статистичних розподілів при порівнянні вимог до ущільнення загального об'єму земляного полотна  $\rho_{dcep} = 1,89 \text{ г/см}^3$ ,  $S = 4,06^{-2} \text{ г/см}^3$  ( $K_{уш} = 0,95$ ;  $p = 0,99$ ) із однією із вибірок фактичних вимірювань ( $\rho_{dcep} = 1,866 \text{ г/см}^3$ ,  $S = 3,618^{-2} \text{ г/см}^3$ )

Але більш глибокий статистичний аналіз, що розглядає вже середні значення багатьох контрольних вибірок, в тому числі і щойно розглянутої, як новий нормальний статистичний розподіл показує, що отримане середнє значення у наведеній контрольній вибірці має у цьому новому розподілі нормоване квадратичне відхилення  $\sigma = -2,393$ , що навіть більше ніж  $\sigma = -2,326$  для **директивного** розподілу, і тому лише 0,8 % можливих середніх значень із багатьох інших контрольних вибірок у цій новій вибірці середніх, (так званий перцентільний ранг за іноземною термінологією) може мати значення, менші цього (рис. 8).

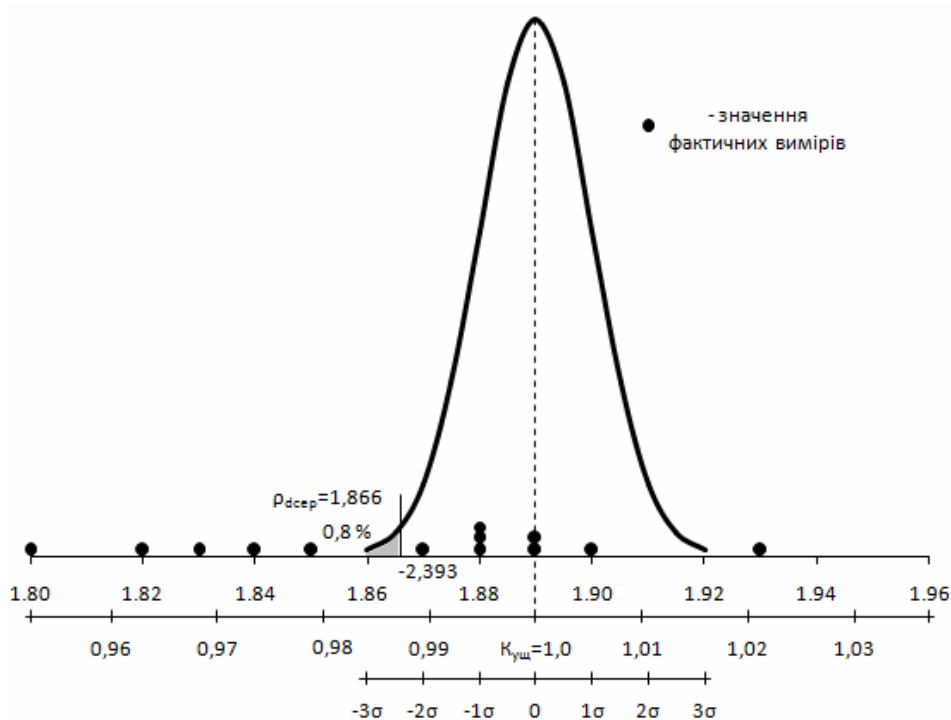


Рис. 8. Розташування одного із вибірових середніх значень показника ( $\rho_{dcep} = 1,866 \text{ г/см}^3$ ,  $S = 3,618^2 \text{ г/см}^3$ ) у сукупності можливого генерального розподілу **середніх**

Таким чином навіть для всього іншого масиву насипу досягнутий рівень якості ущільнення є на межі критичного, тобто практично незадовільним, незважаючи на відносно велике значення середнього у контрольній вибірці –  $\bar{\rho}_d = 1,866 \text{ г/см}^3$ , ( $K_{уш} \approx 0,99$ ). В той же час треба мати на увазі, що потрібна якість ущільнення може вважатись досягнутою лише тоді, коли необхідним вимогам одночасно відповідають обидва показника: критерій Ст'юдента –  $t$  і критерій Пірсона –  $\chi^2$ .

Порівняння вже самих **директивних** статистичних розподілів густини сухого ґрунту для робочого шару та всього іншого об'єму земляного полотна (рис. 9) показує, що між ними теж існує дуже значна відмінність навіть при однаковому середньому значенні цих розподілів і полягає вона у їх суттєво різній неоднорідності

$$\left. \begin{aligned} \oplus t_p &= \frac{1,89 - 1,89}{2,31^{-2}} \sqrt{13} = 0 < t_{\alpha} = 1,762 \\ \ominus \chi_p^2 &= \frac{(13 - 1) \cdot 1,632^{-2}}{5,336^{-4}} = 36,70 > \chi_{\alpha}^2 = 21,03 \end{aligned} \right\} \alpha = 0,95$$

Суттєва різниця між значеннями  $\chi_p^2$  і  $\chi_{\alpha}^2$  є не тільки при 95 % довірчій ймовірності, а й при будь-якій іншій. Таким чином, на якість ущільнення дуже сильно впливає не тільки величина середнього значення у вибірці, але і неоднорідність ущільнення ґрунту.

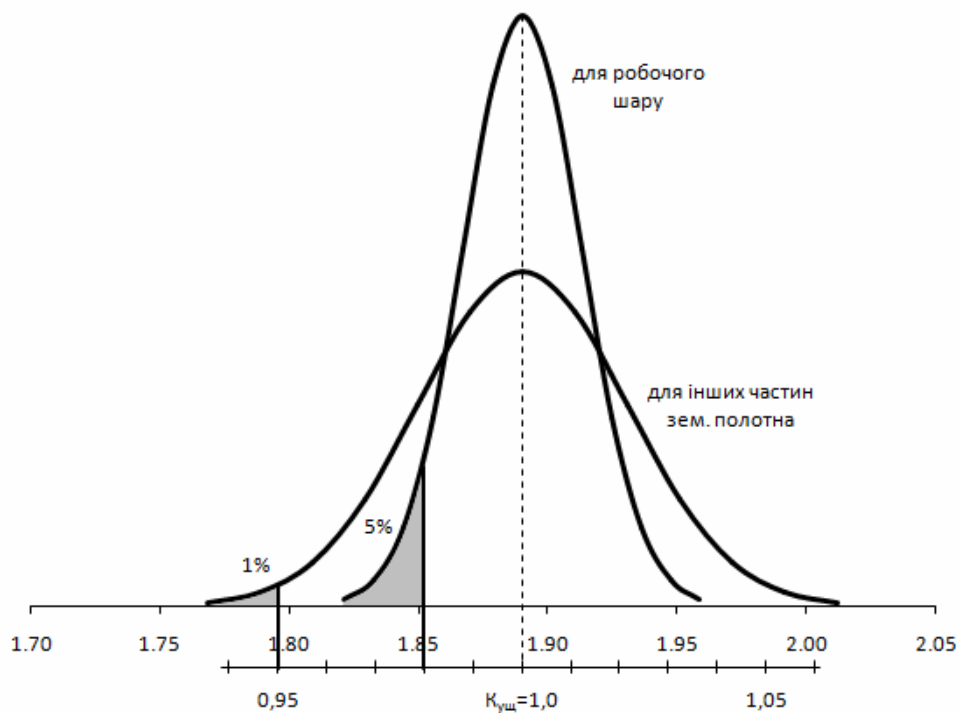


Рис. 9. Порівняння директивних нормальних розподілів значень  $\rho_d$ , г/см<sup>3</sup> для робочого шару ( $S=2,31^2$  г/см<sup>3</sup>) та інших частин земляного полотна ( $S=4,04^2$  г/см<sup>3</sup>)

Незважаючи на певну незвичність викладеного матеріалу для широкого загалу виробничників, реалізація таких розрахунків через невелику кількість простих формул і особливо виконання розрахунків з використанням комп'ютера, яке дозволяє також виводити на дисплей і друкувати відповідні кожному з таких порівнянь статистичні розподіли, робить отримані при контролі якості висновки дуже наочними.

## Висновки

1. Фактично чинна процедура оцінки якості ущільнення ґрунту шляхом прямого формального порівняння як окремих, так і середнього вибіркового значень досягнутої в процесі ущільнення густини сухого ґрунту із допустимим мінімальним  $\rho_{d1} \geq \rho_{dmin}$ ;  $\bar{\rho}_d \geq \rho_{dmin}$ , не тільки не відповідає вимогам Закону України [1], але й призводить до неправильних висновків щодо досягнутої якості виконаної роботи.
2. Наведені у цій роботі розрахунки і пояснення показують, що звичайна у всіх інших сферах діяльності процедура статистичного порівняння при оцінці якості виконаних робіт може бути з успіхом використана і при контролі якості ущільнення ґрунтів, для чого вона повинна бути введена у чинні нормативні документи при їх черговому доопрацюванні як реалізація набутого досвіду у цій сфері.
3. Також слід переглянути досить громіздку і до того ж зовсім необґрунтовану щодо реальних можливостей ґрунтуущільнюючої техніки, так і щодо вимог до конструктивних елементів земляного полотна чинну систему мінімальних значень коефіцієнтів ущільнення, залишивши лише два з них. Перший – щодо ступеня ущільнення ґрунту робочого шару,

а другий щодо всіх інших частин земляного полотна. Одночасно треба нормувати вимоги до призначення довірчої ймовірності значень середніх квадратичних відхилень, наприклад, для робочого шару – 0,95, а для всіх інших елементів – 0,99.

## Література

1. Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Відомості Верховної Ради України зі змінами від 01.06.10. – Київ. – 1998 р.
2. Применение «Руководства по выражению неопределенности измерений. Рекомендации по межгосударственной стандартизации. Государственная система обеспечения единства измерений. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Минск. В Украине вводится с 2004 г.
3. ДБН В.2.3-4:2007 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Київ. – Мінрегіонбуд України. – 2007.
4. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. Гос. ком. СССР по делам строительства. – М. – 1986.
5. СНиП II-Д5-72 Автомобильные дороги. Нормы проектирования. Стройиздат, М. – 1973.
6. НИТУ 128-55 Нормы и технические условия проектирования автомобильных дорог. Гос. ком. Совмина СССР по делам строительства. – М. – 1955
7. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог. Минтрансстрой «Транспорт», М. – 1982.
8. СН 449-72 Указания по проектированию железных и автомобильных дорог. Госстрой СССР «Стройиздат», М. – 1973.
9. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 «Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності. Київ. – 2010.
10. ГОСТ 22733-77 Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности. Госстрой СССР Издательство стандартов, М. – 1979.
11. Механика грунтов для инженеров-дорожников (грунты в дорожном строительстве) перевод с англ. Автотрансиздат М.1957, LONDON HER MAJESTY'S STATIONERY OFFICE 1952: Reprinted. – 1954.
12. Хоу Б.К. Основы инженерного грунтоведения перевод с англ. Стройиздат, М. – 1966.
13. Акройд Т.А. Лабораторные испытания грунтов в строительстве. Перевод с англ. Автотрансиздат М. – 1959.
14. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Київ. – Автодор. – 2004.
15. Мюллер П., Нойман П., Штерн Р. «Таблицы по математической статистике. Перевод с немецкого. «Финансы и статистика», М. – 1982.
16. Операционный контроль качества земляного полотна и дорожных одежд. Под ред. А.Я. Тулаева «Транспорт», – М. – 1985.