

Литвиненко А.С., Волощук Д.В., Петренко М.Л. (ДерждорНДІ)

**ДОСВІД ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ УЩІЛЬНЕНОСТІ
ДРІБНОЗЕРНИСТИХ ПІСКІВ, ЩО ВИКОНУВАЛАСЬ РІЗНИМИ
МЕТОДАМИ, ПРИ СПОРУДЖЕННІ ІЗ НИХ ТРАНСПОРТНИХ
РОЗ'ЯЗОК В М. КИЇВ**

Анотація. В роботі йдеться про оцінку ущільненості дрібнозернистого піску на завершальній стадії будівництва (приймальні випробування) насипів транспортних розв'язок, з метою об'єктивного визначення кількості використаного для їх спорудження піску і вартості виконаних земляних робіт.

Ключові слова: пісок дрібнозернистий, щільний, переущільнений, ріжуче кільце, штампіві випробування (динамічний модуль пружності), динамічне зондування (удосконалена методика).

Аннотация. В работе говорится об оценки уплотнённости мелкозернистого песка на завершающей стадии строительства (приёмный контроль) насыпей транспортных развязок с целью объективного определения количества использованного для их сооружения песка и стоимости земляных работ.

Ключевые слова: песок мелкозернистый, плотный, переуплотнённый, режущее кольцо, штамповые испытания (динамический модуль упругости), динамическое зондирование (усовершенствованная методика).

Annotation. The work deals with the estimation of fine-grained sand compaction at the finishing stage of construction (acceptance tests) of road mounds of transport junctions, with the purpose of objective determination of both, the amount of used sand and the earthworks cost of construction.

Key words: fine-grained sand, dense, overconsolidated (overcompacted), cutting ring, stamp test (dynamic module of resiliency), dynamic probing (an improved method).

Вступ

Оцінка щільності пісків в польових умовах становить певні труднощі через специфічні властивості цих ґрунтів як у природному заляганні, так і в штучно створених ґрунтових масивах чи тонких прошарках інженерних споруд, наприклад, у дорожніх одягах. Згідно ДСТУ Б В.2.1-8-2001 [1, стор. 17] для щільних пісків слід використовувати обурюючі ґрунтоноси, для пухких пісків – такі, що задавлюють у ґрунт, а для пісків середньої густини – забивні. При спорудженні дорожніх насипів пісок повинен бути у щільному і переущільненому ($k_{yщ} \geq 1,0$) стані. Тобто для отримання об'єктивних значень щодо густини таких пісків у сухому стані необхідно користуватись обурюючими ґрунтоносами. В реальних же умовах, при пошаровому контролі якості ущільнення пісків, через відсутність необхідного обладнання, зазвичай, застосовують забивні ґрунтоноси – ріжучі кільця, які більш-менш обережно забивають у пісок декількома ударами спеціального пристрою, подібного до ударника В.И. Волкова (СоюздорНИИ). Такий спосіб розглядають як еталонний, тобто стандартний.

Основна частина

Добре відомо із багатьох публікацій, що більш пухкі піски ($k_{yщ} \ll 1,0$) при забиванні ріжучих кілець дещо доущільнюються, а більш щільні ($k_{yщ} \approx 1,0$) навпаки розущільнюються. Причому чим меншим є розмір ріжучого кільця ($V=150-200 \text{ см}^3$) тим сильніше це позначається на достовірності результатів таких вимірювань. Тому ДСТУ [1, стор. 15] рекомендує щоб мінімальний об'єм ріжучого кільця для пісків був не меншим за $635,0 \text{ см}^3$ ($d=9,0 \text{ см}$, $h=10,0 \text{ см}$).

Нажаль, підрядчики при контролі якості ущільнення пісків в багатьох випадках не дотримуються цих рекомендацій використовуючи ріжучі кільця меншого об'єму, що призводить до значного заниження значень об'ємної

густини сухого ґрунту, а у звітності відповідно і до зменшення маси укладеного в насип піску. А це суттєво впливає на вартість земляних робіт, через що вони мають значні збитки. Вважається, що якщо середнє значення коефіцієнта ущільнення $k_{\text{ущ}} \geq 0,98$ (за наданими протоколами і актами), то цього вже достатньо для позитивної оцінки виконаних робіт. Не вдаючись до детального кількісного аналізу таких актів, що підрядчики, зазвичай, в переважній більшості випадків надають по багатьом об'єктам по всій країні, покажемо (рис. 1) в чому вони програють, не маючи сучасних приладів контролю якості ущільнення піщаних ґрунтів.

У випадку [2] згідно рекомендацій [3] директивний (заданий) нормальний статистичний розподіл густини сухого ґрунту при мінімальному значенні $k_{\text{ущ min}}=0,98$ і $\alpha=95\%$ має такі параметри: середнє значення $\bar{\rho}_d = \rho_{d \text{ max}}=1,81 \text{ г/см}^3$ і середнє квадратичне відхилення – $S=(1,81-1,81 \times 0,98) \div 1,645=2,19^{-2} \text{ г/см}^3$, де число 1,645 – нормоване стандартне відхилення нормального розподілу при односторонній довірчій ймовірності 95%. На рис. 1 цей розподіл показаний пунктиром. Згідно одного з типових актів підрядчика при 14 значеннях вимірів, у одній із конкретних вибірок виконаних методом ріжучого кільця об'ємом $393,0 \text{ см}^3$, маємо такі параметри експериментального нормального розподілу: $\bar{\rho}_{de}=1,768 \text{ г/см}^3$ і $S_e=1,25^{-2}$. Тобто середнє значення цієї вибірки менше мінімального значення, а весь розподіл знаходиться лівіше середини директивного розподілу. Цей розподіл на рис. 1 показаний із позначкою $V \approx 400 \text{ см}^3$. Таким чином підрядчик з одного боку знає що уклав у насип і добре ущільнив велику кількість піску, а з другого боку не може цього довести. В той же час контрольна оцінка густини сухого ґрунту ріжучим кільцем 500 см^3 , виконана одним із підрозділів ДерждорНДІ при 9 вимірах, дозволяє розрахувати нормальний статистичний розподіл з такими параметрами $\bar{\rho}_{de}=1,807 \text{ г/см}^3$ і $S_e=2,34^{-2} \text{ г/см}^3$. Цей розподіл показаний на рис. 1 з позначкою $V=500 \text{ см}^3$. Як видно він значно краще узгоджується із директивним розподілом. Але і ця експериментальна вибірка не дає достатньо об'єктивної оцінки ущільненості піску у насипу через його розпушування при забиванні ріжучого кільця у переущільнений пісок, як відмічено у ДСТУ [1].

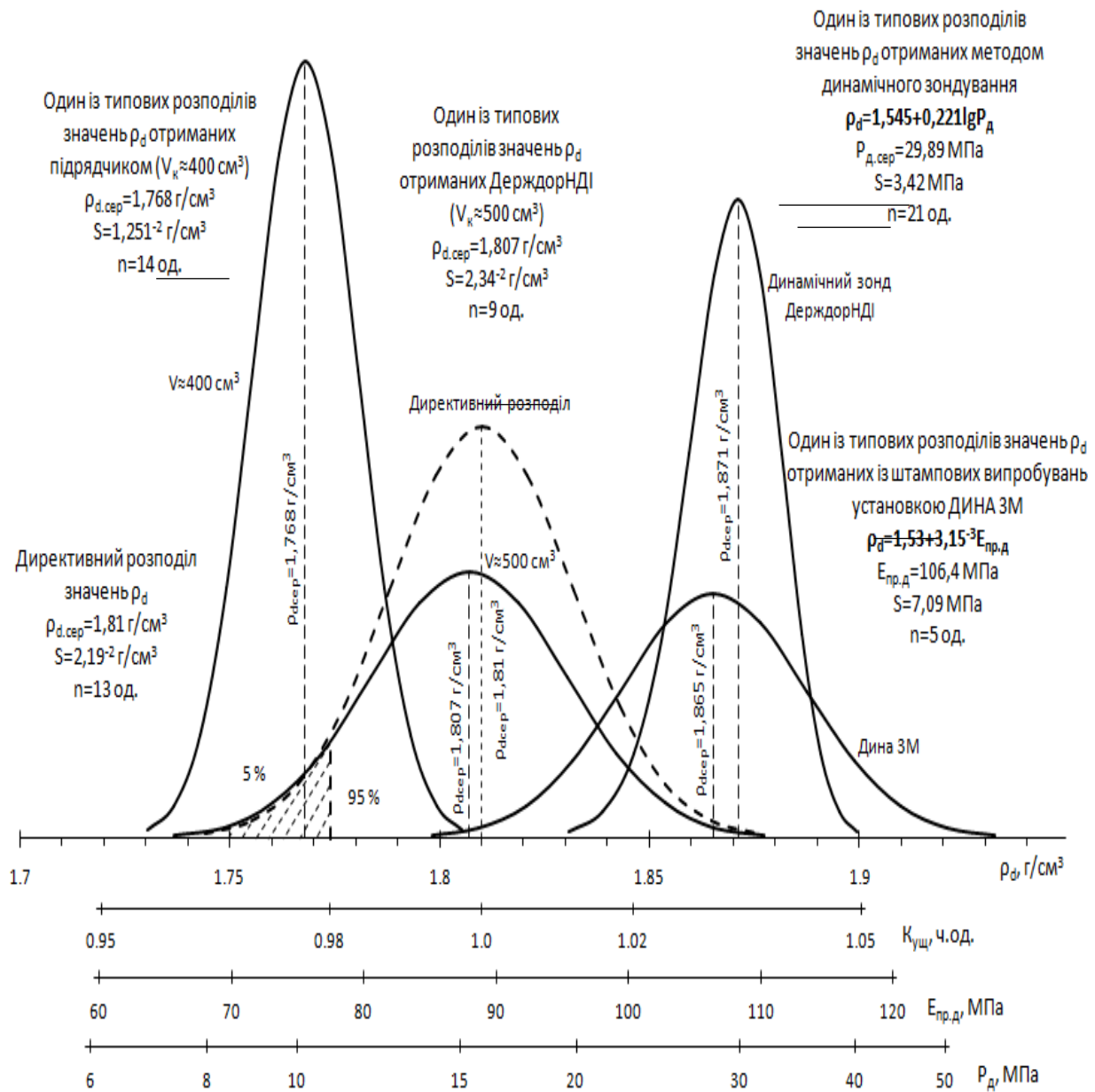


Рисунок 1 – Порівняння оцінок ущільненості дрібнозернистого піску що здійснені різними виконавцями та різними методами

Далі розглянемо ефективність застосування для оцінки ущільненості такого «делікатного» матеріалу як пісок – штапових випробувань. На тому самому місці, де виконувались і попередні дослідження була задіяна установка динамічного навантаження ДИНА–3М [2] із діаметром штапа 33 см. Як показали статистичні розрахунки, для вибірки із п'яти точок випробувань, для динамічного модуля пружності ущільненого дрібнозернистого піску отримали такі характеристики нормального статистичного розподілу: $\overline{E_{пр,д}} = 106,4 \text{ МПа}$ і

$S=7,09$ МПа. Якщо порівнювати з вимогами [4, стор. 88], то $\overline{E}_{\text{пр.д}}=106,4$ МПа $> 100,0$ МПа. Тобто начебто все добре і на цьому можна було б поставити крапку. Але треба нагадати, що ступінь ущільнення ґрунту, як би він не оцінювався, є не просто показник якості виконання робіт, а і економічна категорія, що пов'язана із кількістю витраченого матеріалу і вартістю робіт з його ущільнення. Наш попередній досвід використання установки ДИНА-3М та приладу ZFG-02 (рис. 2) [5], наприклад, у роботі [6] та ін., дозволив нам визначити для дрібнозернистих пісків таку емпіричну залежність:

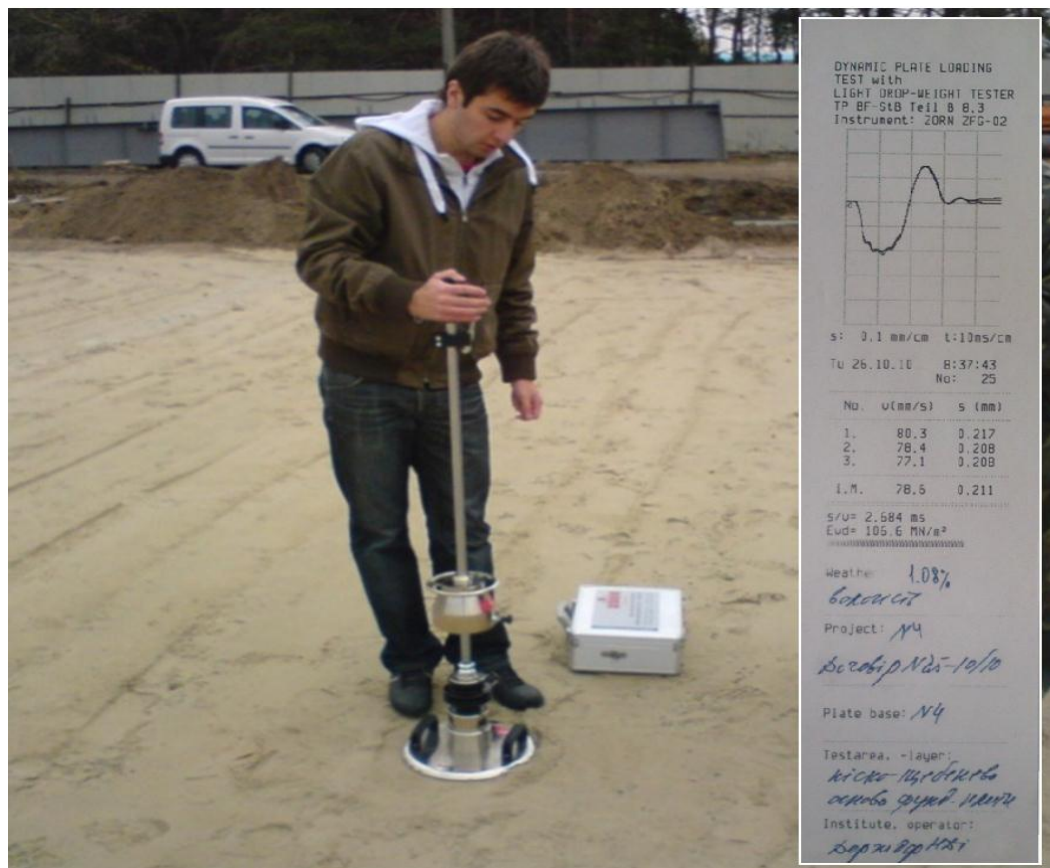
$$\overline{\rho_d}=1,53+3,15^{-3}\cdot E_{\text{пр.д}}$$


Рисунок 2 – Штампові випробування з використанням приладу ZFG-02 та протокол результатів випробувань, що він роздруковує на кожній точці з визначенням дати і часу випробувань

Це в свою чергу дозволяє порівнювати значення динамічного модуля пружності отримані методом динамічного навантаження із відповідними

показниками отриманими іншими методами відносно значень густини сухого ґрунту ρ_d . З рис. 1 видно, що значення $E_{пр.д}=100,0$ МПа приблизно відповідає $k_{ущ}=1,03$ для дрібнозернистих пісків, а не $k_{ущ}=1,0$ як можна було уявляти до цього. Тобто розрахункове для дорожніх одягів значення $E_{пр.д}=100,0$ МПа, для дрібнозернистих пісків може бути використане тільки, коли фактично досягнутий ступінь їх ущільнення в середньому більше одиниці. Ще одним методом оцінки ущільненості дрібнозернистих пісків, який використовувався у проведених дослідженнях, був метод динамічного зондування за удосконаленою методикою розробленою у ДерждорНДІ [7]. Цей метод дозволяє оцінювати стан насипів практично на всю її висоту, тобто на глибину до 12-15 м (рис. 3).

На рис. 4–5 показані епюри опору піску динамічному зондуванню ще на деяких поперечних розрізах транспортних розв'язок, що споруджувались в Києві у 2011 році і стан яких оцінювався за схемою приймального контролю. Тобто можливості цього методу значно більші ніж раніше розглянутих бо він дозволяє визначити неоднорідність ущільнення ґрунтів по висоті насипів. Враховуючи дані рис. 3 верхня частина насипу № 2 була частково розібрана, а потім знову споруджена із пошаровим ущільненням. Оскільки подібні дослідження виконувались також і на тій ділянці насипу, де раніше ущільненість піску оцінювалась ріжучими кільцями і установкою ДИНА–3М [2], то отримали для неї ще й статистичний розподіл значень показників опору піску динамічному зондуванню: $\bar{P}_д=28,89$ МПа; $S=3,42$ МПа, $n=21$. Як показали наші дослідження, що виконувались раніше, значення $\rho_d, \text{г/см}^3$ для дрібнозернистих пісків пов'язані із значеннями $P_д, \text{МПа}$ емпіричною залежністю $\rho_d=1,545+0,2211\text{г } P_д$, що дає можливість і цей статистичний розподіл показати разом із іншими на рис. 1. Характерно, що отриманий цим методом статистичний розподіл у значеннях ρ_d дуже добре збігається з аналогічним розподілом ρ_d для штампових випробувань ДИНою–3М. Цей розподіл також підтверджує той факт, що пісок по висоті насипу ущільнений з коефіцієнтом ущільнення близько $k_{ущ}=1,03$.

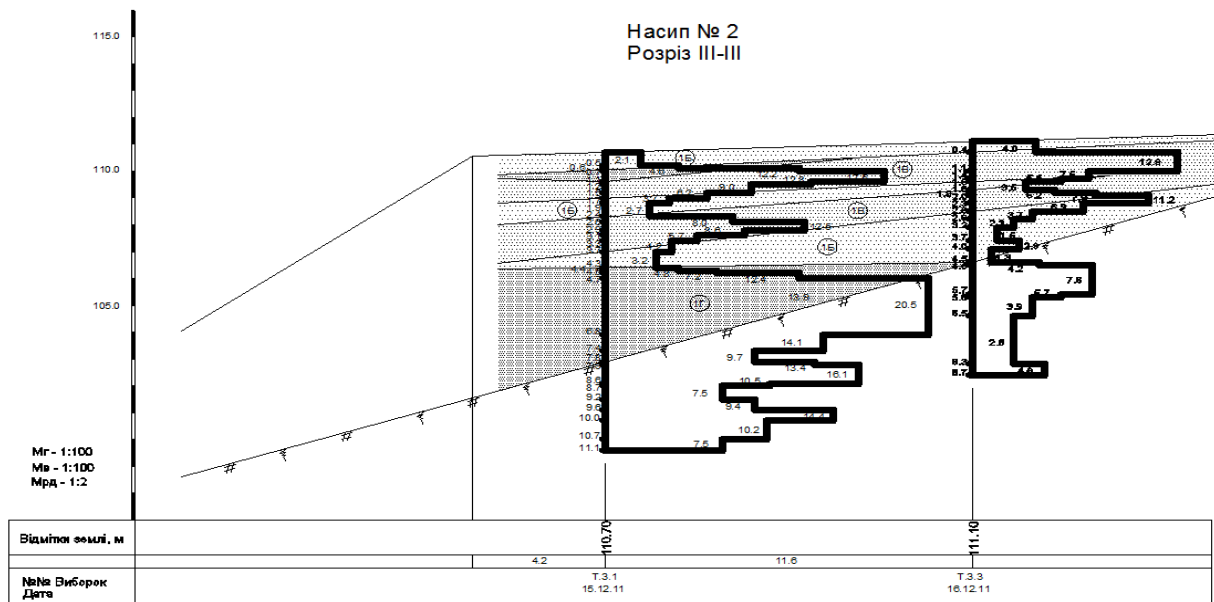


Рисунок 3 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню по одному з поперечних розрізів насипу № 2 транспортної розв'язки на Набережному шосе у Печерському районі м. Києва [8]

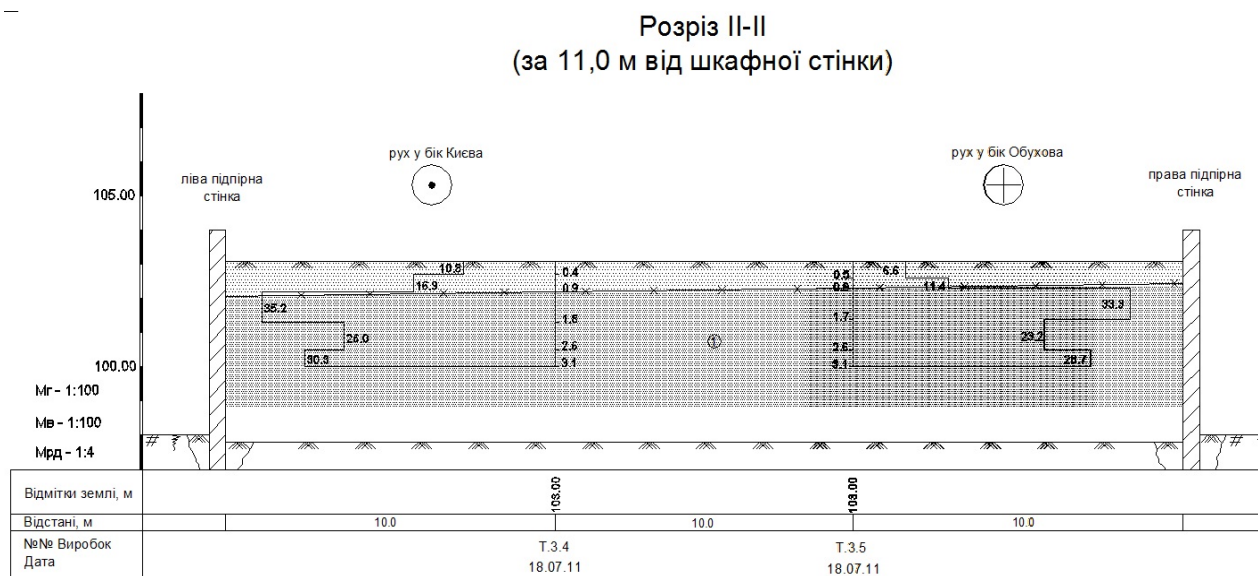


Рисунок 4 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню на одному із розрізів розв'язки на Столичному шосе в Голосіївському районі м. Києва

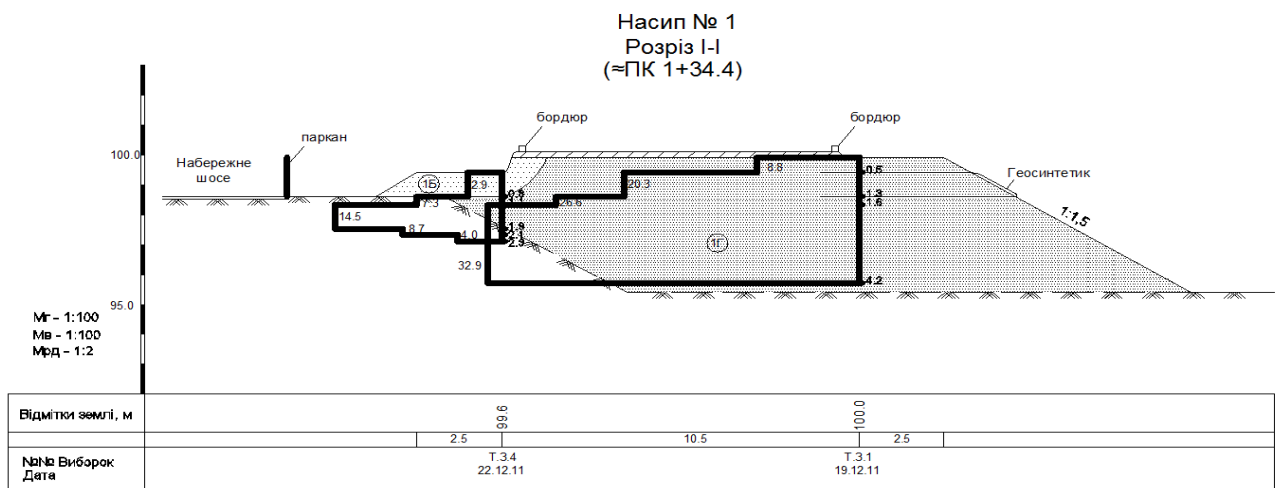


Рисунок 5 – Розподіл опору піску динамічному зондуванню на відмиканні від Набережного шосе у Печерському районі м. Києва [8]

Але значення R_d є досить великими тільки для глибини зондування, яка, зазвичай, перевищує 0,6–0,9 м. Як видно з рис. 3, 4 і 5, у поверхневих шарах піску, як і для ріжучих кілець, які хоч і досить обережно але забиваються в пісок, тут також відбувається розпушування піску внаслідок занурення у нього наконечника зонду. І хоча коефіцієнт ущільнення на поверхні шару досить великий, наприклад, при $R_d=10,8$ МПа, $k_{ущ}=0,98$ (рис. 4, Т.3.4), не рекомендується при оперативній оцінці ступеню ущільнення пісків використовувати будь-які пристрої динамічного зондування через невелику товщину шару ґрунту, що ущільнюється (0,3–0,5 м), оскільки вже своєю конструкцією і принципом дії вони занижують реальну і часто досить велику фактичну щільність пісків, що без особливих витрат досягається сучасними ґрунтоущільнюючими засобами при товщині шару піску, який не перевищує 0,35 м у пухкому стані.

Тут варто також зупинитись ще на одному важливому моменті ущільнення всіх видів пісків крім пілуватих, який має не тільки технологічне, але і економічне значення, це питання так званої оптимальної вологості. Як показує досвід, не варто наполягати чи навіть акцентувати на необхідності, що змушує підрядчика виконувати цю норму при ущільненні пісків, дотримуватись вологості близької до оптимальної. Всі піски крім пілуватих однаково добре ущільнюються з коефіцієнтами ущільнення $k_{ущ}>1,0$ при будь-якій вологості

оскільки для них більш важливими факторами є саме вібрація і оптимальна товщина шару у пухкому стані, тобто перед ущільненням, і ця товщина, як ми вже згадували, не повинна перевищувати 0,35 м. Таким чином вологість пісків повинна бути лише такою, як природна у кар'єрі (при $w > 5\%$), або у межах 3–5 %, яка дозволяє взагалі з ним працювати без особливих проблем.

Висновки

1. При існуючому розвитку ґрунтоущільнюючої техніки і витримуванні оптимальної (раціональної) товщини шару 0,35 м піщані і гравіюваті ґрунти завжди можливо достатньо просто ущільнити в середньому до показників $\overline{k_{ущ}} = 1,02 - 1,05$, що повинно враховуватись при оплаті таких земляних робіт.

2. Найдоцільніше ступінь ущільнення піщаних ґрунтів, і не тільки їх, при оперативному контролі якості визначати за допомогою приладу ZFG 02, час одного вимірювання яким становить близько 3 хв. Результати його вимірювань $E_{пр.д.}$, МН/м² (МПа), які при ущільненні пісків не залежать від їх вологості, можна безпосередньо порівнювати із табличним значенням аналогічного показника [4].

3. Використання цього приладу дозволяє досить просто і швидко здійснювати пробне ущільнення піщаних ґрунтів з метою визначення необхідної кількості проходів котка при товщині пухкого ґрунту 0,35 м і модулі пружності його основи не менше ніж необхідний модуль динамічної пружності шару, що ущільнюється.

4. Миттєвий роздрук отриманого результату випробування з наданням інформації про дату і час цього випробування в значній мірі забезпечує раціональну роботу підрядчика і дисциплінує його, а також дає замовнику впевненість у дійсному виконанні цієї роботи з необхідною якістю. Ксерокопії цих протоколів повинні надаватись замовнику, а також проектанту для удосконалення методів розрахунку дорожніх одягів і стійкості укосів земляного полотна.

5. Для оцінки кількості використаного при спорудженні насипів піску і розрахунку вартості виконаних робіт слід користуватись наведеною в статті

залежністю густини сухого ґрунту дрібнозернистого піску від динамічного модуля пружності $\rho_d=f(E_{\text{пр.д.}})$, г/см³.

Література

1. ДСТУ Б В.2.1-8-2001 Основи та фундаменти споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків. Держбуд України. Київ 2002.
2. «Визначення стану ущільнення земляного полотна (на підходах) залізобетонної естакади в складі об'єкту: «Будівництво транспортної розв'язки на примиканні просп. Науки до Столичного шосе в Голосіївському районі м. Києва на завершальній стадії будівництва». Звіт про виконання роботи за договором № 266-11. ДерждорНДІ. Київ 2011.
3. А.С. Литвиненко «До питання нормування ступеня ущільнення та контролю якості ущільнення ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг» Автошляховик України № 2 – 2011, 41-45 с.
4. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Укравтодор. Київ 2004.
5. Mechanical Workshops – Gerhard Zorn – Benz str. 1-D, 39576 Stendal Germany.
6. «Здійснити оцінку ущільненості основи з піско-щебеню під фундаментну плиту льодового поля по вул. Міста-Шалетт, 6». Звіт про виконання роботи за договором № 25-10/10. ДерждорНДІ. Київ 2010.
7. А.С. Литвиненко «Удосконалення методики обробки даних, отриманих методами динамічного і статистичного зондування ґрунтів». Збірник «Дороги і мости» ДерждорНДІ. Вип. 3. Київ 2005.
8. «Здійснити приймальні випробування ущільненості насипів реконструйованої частини розв'язки на примиканні Дніпровського узвозу до Набережного шосе у Печерському районі м. Києва». Звіт про виконання роботи за договором № 459-11. ДерждорНДІ. Київ 2012.