

**ВИЗНАЧЕННЯ НОРМАТИВНИХ ЗНАЧЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ ЗА ДАНИМИ ДИНАМІЧНОГО ЗОНДУВАННЯ**

**DETERMINATION OF NORMATIVE VALUES OF MECHANICAL INDICATORS
OF BONDED SOILS BASED ON DYNAMIC PROBING DATA**



Литвиненко Анатолій Семенович, інженер шляхів сполучення, Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П.Шульгіна», e-mail: asl.weise@gmail.com, тел. +380676992514,

<https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>



Кушнірова Оксана Миколаївна, Національний транспортний університет, кафедра транспортного будівництва та управління майном, старший викладач, kushnirovao@gmail.com, тел. +380442803942,

<https://orcid.org/0000-0001-6011-5609>

Анотація. В роботі на основі аналітичного аналізу табличних значень механічних показників зв'язних ґрунтів природного залягання (структурованих), які наводяться в будівельних нормативних документах, та їх деякого корегування з урахуванням практичного досвіду геотехнічних вишукувань із застосуванням методу динамічного зондування, дається графічна й аналітична (формульна) інтерпретація цих значень відносно значень показника динамічного зондування R_d , МПа, та показника текучості I_L , од., за ступеня водонасичення цих ґрунтів $S_r \geq 0,8$ од.

Також у роботі дається фізичне обґрунтування суттєвої різниці між значеннями механічних показників зв'язних ґрунтів у їх природному стані та аналогічними техногенними ґрунтами у штучних інженерних спорудах-насипах, де їх структурні зв'язки були порушені в процесі екскавації, в місцях видобутку, розрівнювання під час укладання та пошарового ущільнення.

Ключові слова: нормативні документи, табличні дані, зв'язні ґрунти, природні, механічні показники, графічна інтерпретація, аналітичні залежності.

Вступ

Через певну складність відбирання монолітних зразків ґрунтів, складність і тривалість їх лабораторних випробувань для визначення середніх (нормативних) і розрахункових значень механічних показників, на початкових етапах проектування, а також для менш відповідальних будівель і споруд, зазвичай, користуються нормативними даними, які наводяться в табличній формі у відповідних нормативних документах із будівництва [1, с. 47–48; 2, с. 88–89, 3, с. 12–13].

Одночасно, на початкових етапах проектування, разом із традиційними буровими геотехнічними роботами вже багато років застосовують й інші, більш продуктивні, хоча і не такі точні, допоміжні методи дослідження ґрунтових масивів та основ інженерних споруд. Серед таких методів достатньо великого поширення набули методи статичного та динамічного зондування [5, с. 22]. Значними недоліками використання цих методів у вітчизняній практиці є те, що, зазвичай, обладнання для таких робіт використовують імпортного виробництва, а методику оцінювання значень механічних показників ґрунтів зашифровано в їх паспортній документації як власність відповідного виробника. Через це не можна бути достатньо впевненим, що дані, отримані в результаті якихось конкретно проведених вишукувань, відповідають саме цим ґрунтам, які насправді залягають в основі інженерних споруд.

Тому метою цієї роботи також є необхідність показати, яким чином результати конкретних досліджень можуть бути узгоджені саме із даними чинної вітчизняної нормативної будівельної бази даних.

Основна частина

Аналітичний аналіз табличних значень механічних показників зв'язних ґрунтів, у нормативних документах згаданих у вступі і в прийнятих там діапазонах (інтервалах) мінливості цих показників, можна представити у вигляді експоненціальних залежностей (рис. 1—3). У вибраних координатах і діапазонах зміни такі функції може бути представлено відрізками прямих ліній, що дозволяє досить просто знаходити необхідні показники графічним методом. До графіків також додано відповідні їм аналітичні залежності, що не тільки спрощує процес і точність визначення числових значень цих показників, але і дозволяє, при необхідності, автоматизувати цей процес так, як тепер це робиться в паспортах свердловин статичного зондування. Для пристроїв динамічного зондування такого аналітичного переходу взагалі не існувало.

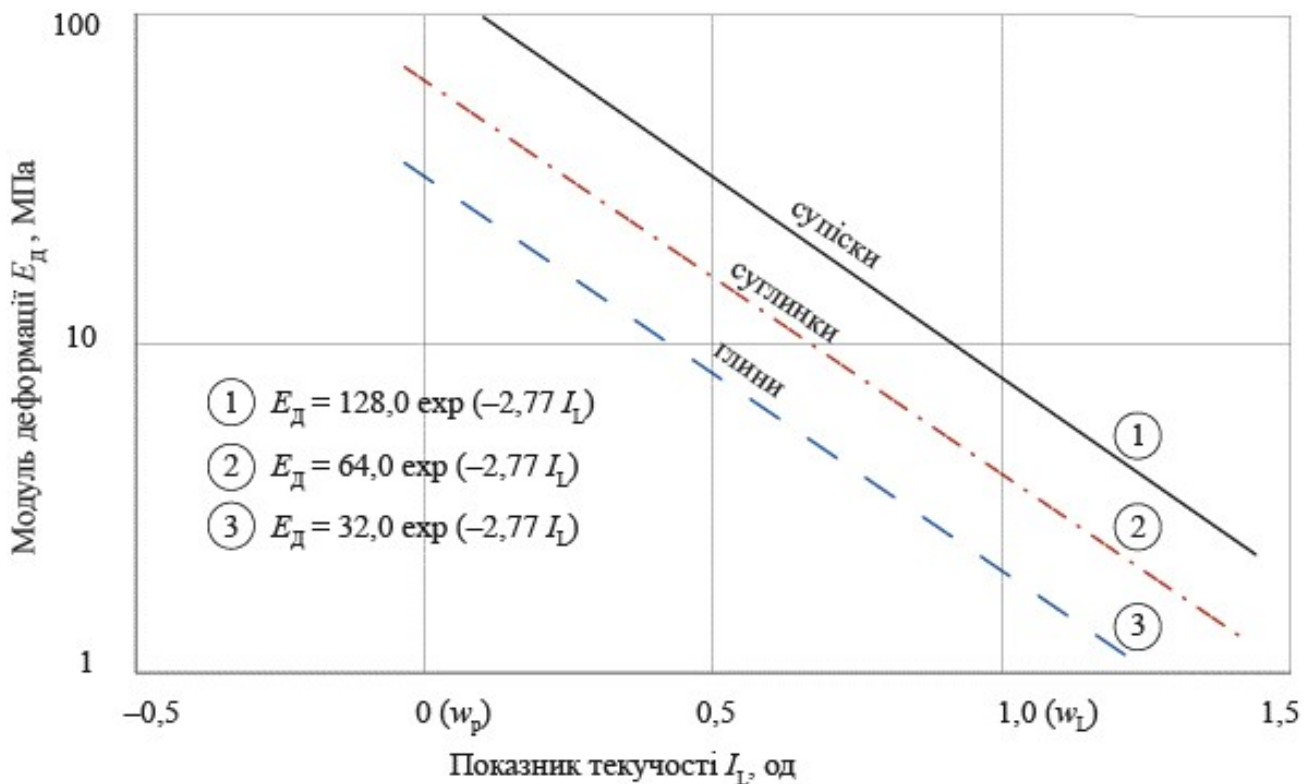


Рисунок 1 — Залежності нормативних значень модуля деформації зв'язних ґрунтів від показника текучості, коли $S_r \geq 0,8$ од.

Figure 1 - Dependences of the deformation modulus normative values of cohesive soils on the yield strength, when $S_r \geq 0.8$ units

На рис. 4 у графічній та аналітичній формах показано можливість поєднати значення показників опору ґрунтів динамічному зондуванню P_d , МПа, з фізичними параметрами ґрунтів у вигляді показників текучості I_L , од., та коефіцієнта ущільненості k_d , од. (за Приклонським В. А.) [7, с. 207].

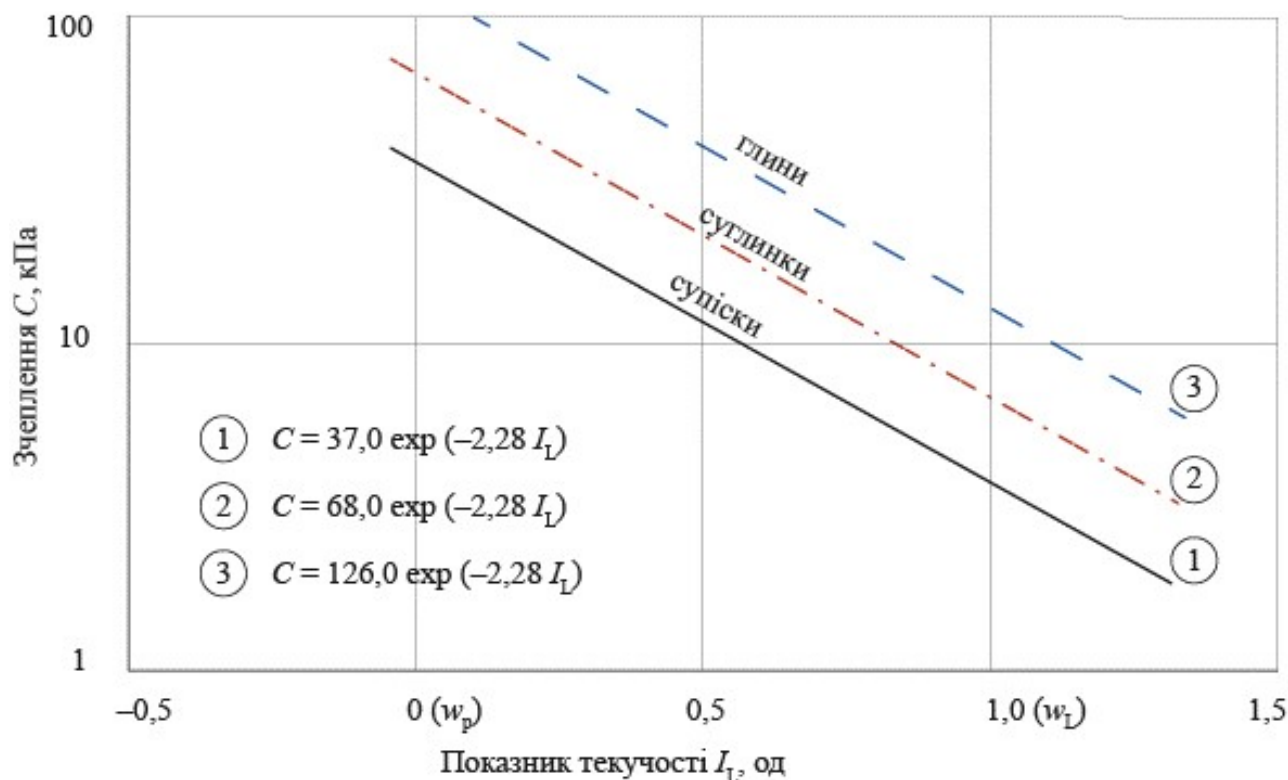


Рисунок 2 — Залежності нормативних значень зчеплення зв'язних ґрунтів від показника текучості, коли $S_r \geq 0,8$ од.

Figure 2 - Dependences of adhesion normative values of cohesive soils on the yield index, when $S_r \geq 0.8$ units.

Показники I_L [6, с. 32] та k_d у безрозмірному вигляді пов'язані з вологістю w , од., та густиною сухого ґрунту ρ_d , г/см³, залежностями:

$$I_L = (w_i - w_p) / (w_L - w_p), \quad (1)$$

$$k_d = (e_{w_L} - e_{w_i}) / (e_{w_L} - e_{w_p}), \quad (2)$$

де I_L — показник текучості, од.;

k_d — показник ущільненості, од.;

w_L та w_p — межі текучості та розкочування ґрунту, од.;

e_{w_L} та e_{w_p} — коефіцієнти пористості ґрунту, од., які відповідають значенням їх меж текучості

та розкочування

w_i та e_{w_i} — вологість і коефіцієнт пористості кожного конкретного зразка ґрунту.

Для стану повного водонасичення $S_r = 1,0$ ці два показники однозначно пов'язані між собою залежністю:

$$e = w \cdot \rho_s,$$

$$a \ I_L + k_d = 1,0,$$

де w — вологість ґрунту, в од.;

ρ_s — питома маса частинок ґрунту, г/см³.

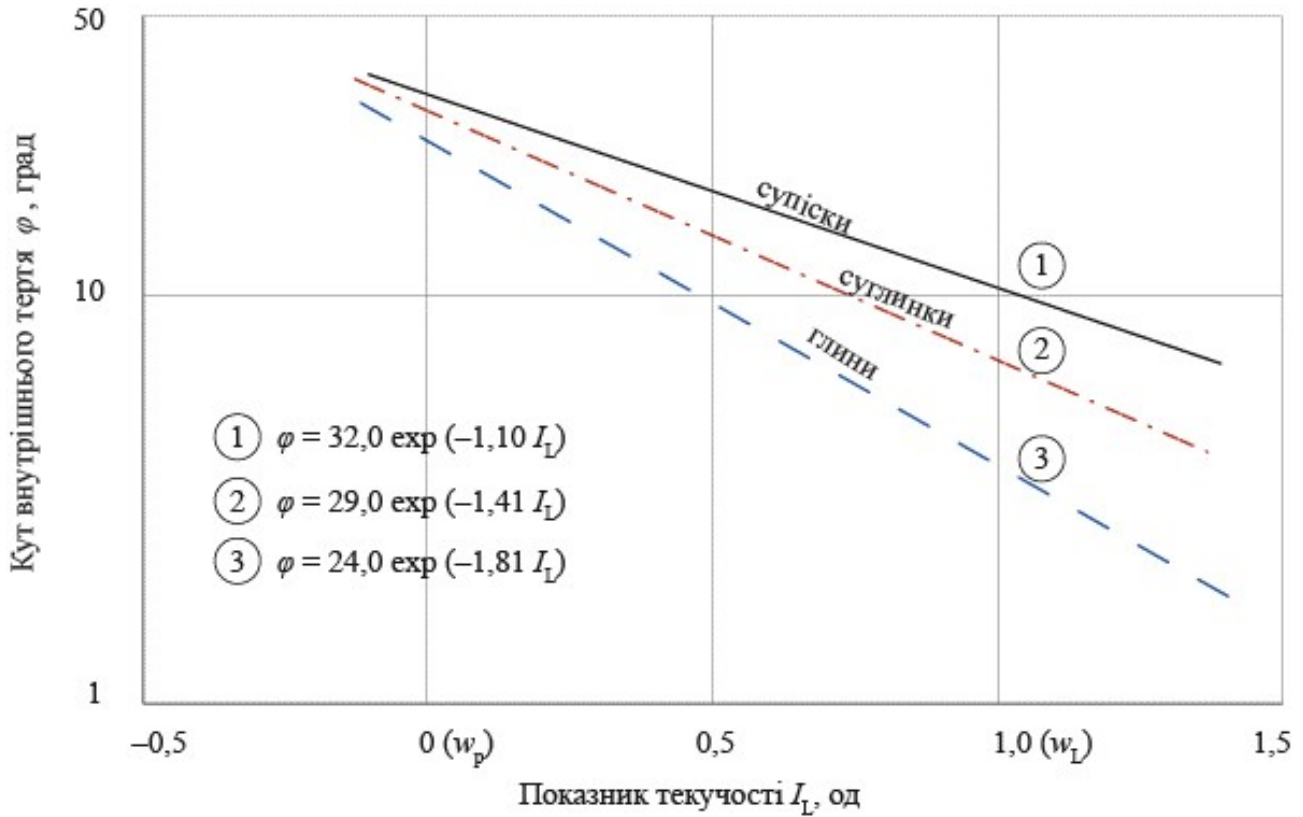


Рисунок 3 — Залежності нормативних значень кута внутрішнього тертя зв'язних ґрунтів від показника текучості, коли $S_r \geq 0,8$ МПа

Figure 3 - Dependences of the internal friction angle normative values of cohesive soils on the yield strength, when $S_r \geq 0.8$ MPa

Для визначення показника ρ_s не потрібно відбирати моноліти ґрунтів.

Таким чином на рис. 4, у досить зручному графічному й аналітичному вигляді, можна бачити, як всі можливі стани ґрунтів, від твердих до текучих, так і їх зв'язок у водонасиченому стані з опором умовному динамічному зондуванню P_d , МПа, що дозволяє поширити цей зв'язок і на стан ґрунтів із $S_r \geq 0,8$. На рис. 4 цю зону виокремлено відповідним забарвленням (штриховими лініями).

Усе висловлене до тепер стосується тільки природних, в тій чи іншій мірі, структурованих (кристалізаційні, водноколоїдні зв'язки) ґрунтів, і в принципі, не може бути будь-яким чином поширене на техногенні деформувані ґрунти в штучних ґрунтових інженерних спорудах. Причому, це обумовлено не тільки природними властивостями самих ґрунтів, а й величиною зусиль, які на них передаються, та характером їх прикладання (динамічні зусилля).

Так, в переважній більшості споруд цивільного будівництва, тиск, який чинить споруда на ґрунтову основу, не більше ніж 0,3 МПа (3 кг/см²). Компресійні випробування ґрунтів, зазвичай, обмежуються тиском $p \leq 0,5$ МПа (5 кг/см²) і нормативні показники ґрунтів даються лише у межах пластичного стану ґрунтів $0 \leq I_L \leq 0,75$. Безумовно, що окремі споруди розраховують і на більший тиск на ґрунт, але вони проектується за спеціальними проектами і дослідженнями.

У зв'язку із цим абсолютно недоречним можна вважати пристосування нормативних даних, характерних для цивільного будівництва для потреб, наприклад, дорожнього або аеродромного будівництва, що є чинним фактично і до тепер [2—4].

Зроблений нами аналітичний аналіз цих нормативних документів [2—4] для транспортного будівництва показав, що формально враховуючи руйнування природної структури ґрунтів під час спорудження насипів, в табличних даних нормативних документів дещо зменшені значення показників c — зчеплення та φ — кута внутрішнього тертя. У той самий час не зрозуміло, з яких міркувань там навіть дещо збільшені значення модулів пружності, $E_{пр}$, МПа, порівняно з наведеними в нормативних документах для цивільного будівництва модулями деформації E_d , МПа.

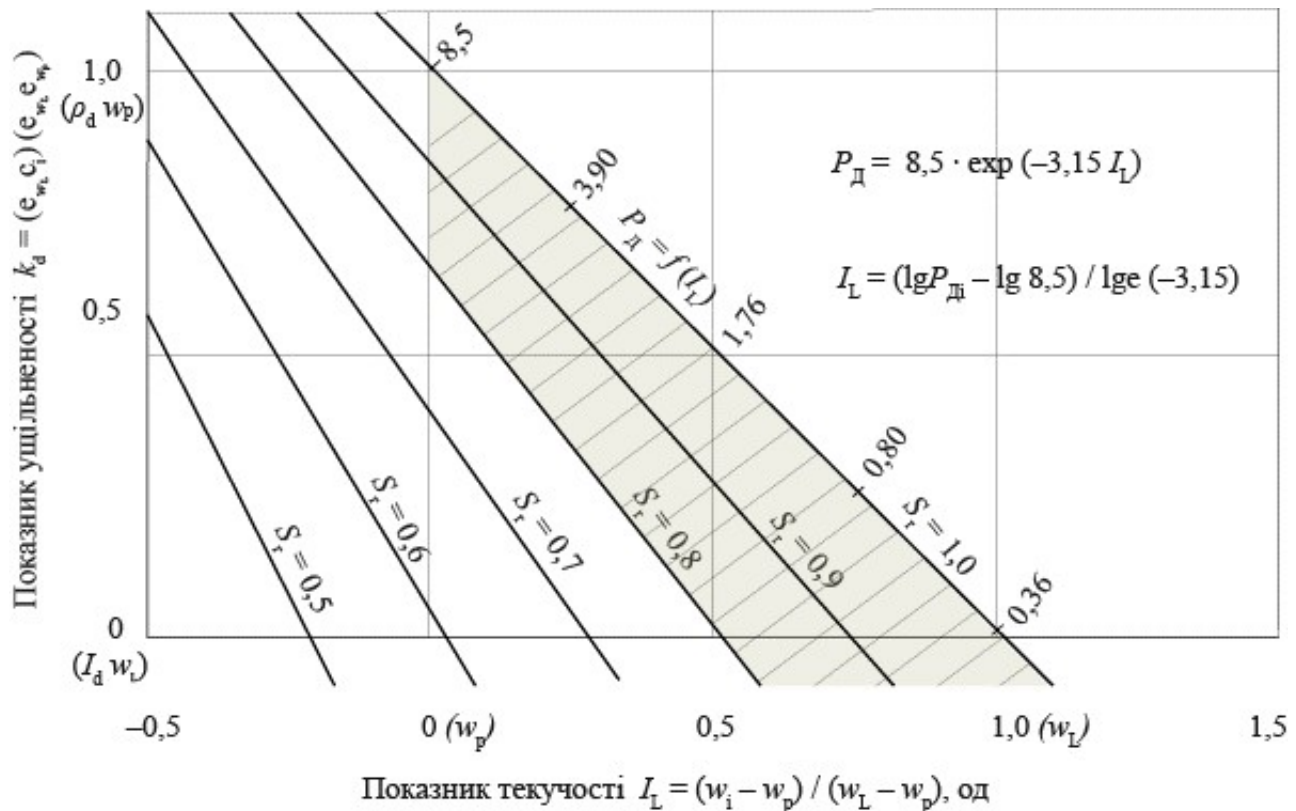


Рисунок 4 — Загальна залежність показника P_d , МПа, зв'язних ґрунтів від їх показників ущільненості та текучості, коли $S_r \geq 0,8$ од.

Figure 4 - General dependence of cohesive soils P_d , МПа, on their density and fluidity, when $S_r \geq 0.8$ units

Слід взяти до уваги, що у пластичному стані зв'язних ґрунтів ($0 < I_L < 0,75$), для якого завжди наводяться ці показники у нормативних документах, пружні властивості таких ґрунтів практично відсутні, а так звані модулі деформації більше характеризують (особливо на початковій стадії випробування) структурні властивості ґрунтів ніж пластичних, що найкраще помітно саме для лесових ґрунтів на їх компресійних залежностях [9, с. 53].

З рис. 5 добре видно, що ґрунти, ущільнені в насипах, згідно стандартного ущільнення, повинні мати густину сухого ґрунту дещо більшу за густину сухого ґрунту відповідних зв'язних ґрунтів на межі їх розкочування w_p [10, с. 195]. У цій роботі через велику кількість графічного матеріалу це не показано, але, зазвичай, графіки стандартного ущільнення зв'язних ґрунтів у безрозмірних координатах $I_L - k_d$ дуже добре накладаються один на одного, і їх максимальна густина сухого ґрунту перевищує аналогічну густину зв'язних ґрунтів на межі їх розкочування.

Якщо для прикладу порівняти залежності модулів деформації суглинистого ґрунту природного залягання і модулів пружності штучно ущільнених ґрунтів в приладі стандартного ущільнення (рис. 6), то також нескладно побачити, що не можна в нормативних документах на спорудження автомобільних доріг, чи інших штучних інженерних ґрунтових споруд, спиратись на дані нормативних документів для цивільного будівництва як на прототип.

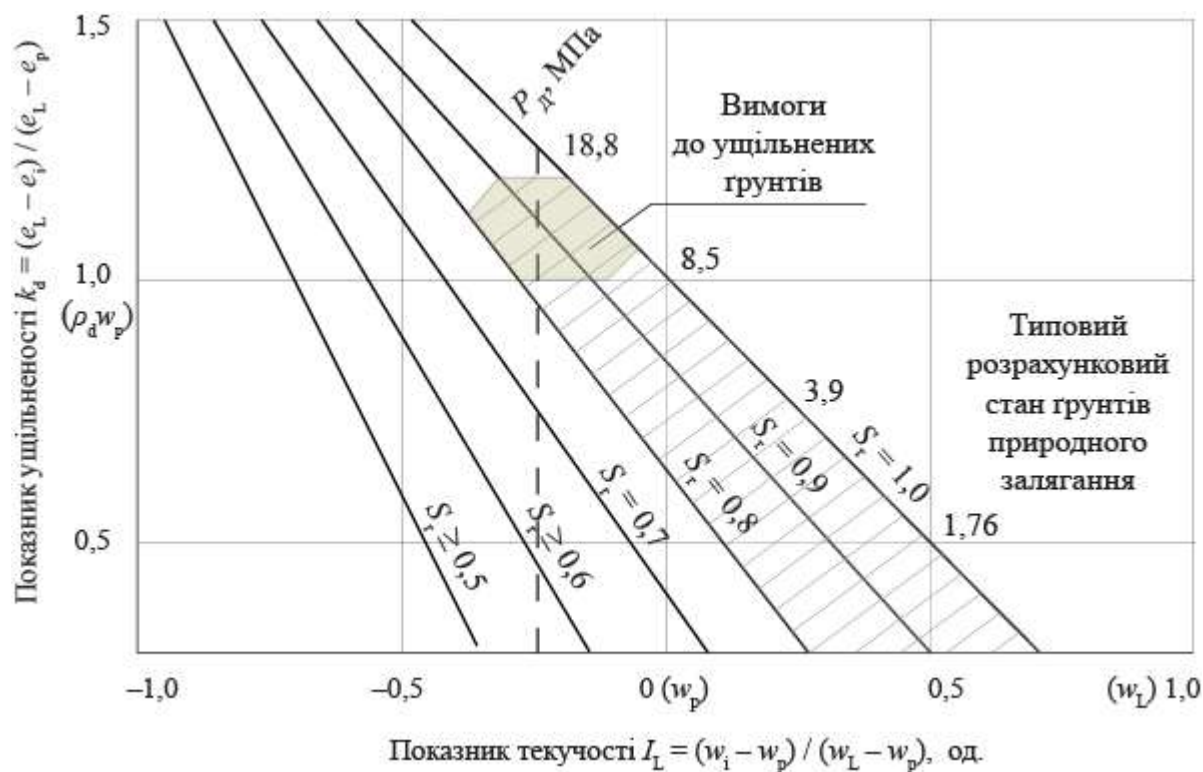


Рисунок 5 — Типові стани ґрунтів природного залягання та вимоги до стану ґрунтів, ущільнених в насипах

Figure 5 — Typical natural soils conditions and requirements for embankments compacted soil conditions

Більш того, тепер виникає питання, а чи потрібно під час розрахунків дорожніх одягів користуватись такими показниками як зчеплення і кут внутрішнього тертя? Відомо, що при якісному спорудженні насипів на ґрунт при його укладанні, повинні діяти зусилля не менші 0,6 МПа [11, с. 147, с. 152] при вологості ґрунту не більше нижньої межі пластичності w_p , а це досить сухі і тверді ґрунти. Випробування таких щільних зразків ґрунтів на зріз досить проблематичне і нам не відомі літературні значення таких показників c , ϕ при $I_L < 0$. Та й проводити такі випробування треба було б при вертикальному тиску на зразок у межах (0,7—1,0) МПа. Таким чином єдиним і найголовнішим параметром, який характеризує будівельні властивості ущільнених у насипах ґрунтів, має бути лише модуль пружності та пов'язані з ним величини найбільшого відносного пружного прогину l_{max} і відповідна йому межа міцності $R_0 \geq 0,6$ МПа.

В результаті проведеного аналізу, з'ясовується, що на міцність і довговічність (надійність) дорожніх та аеродромних одягів більше впливає не методика їх розрахунку, а саме якість спорудження земляного полотна ґрунтової основи та достовірність виконання її контролю та пов'язані з цим процесом прилади й обладнання. Як гарантія надійної роботи дорожніх одягів в їх основі не повинно бути ґрунтів природного залягання із $\rho_d < \rho_{d_{w_p}}$ (принаймні на глибину 1,5 м від поверхні покриття).

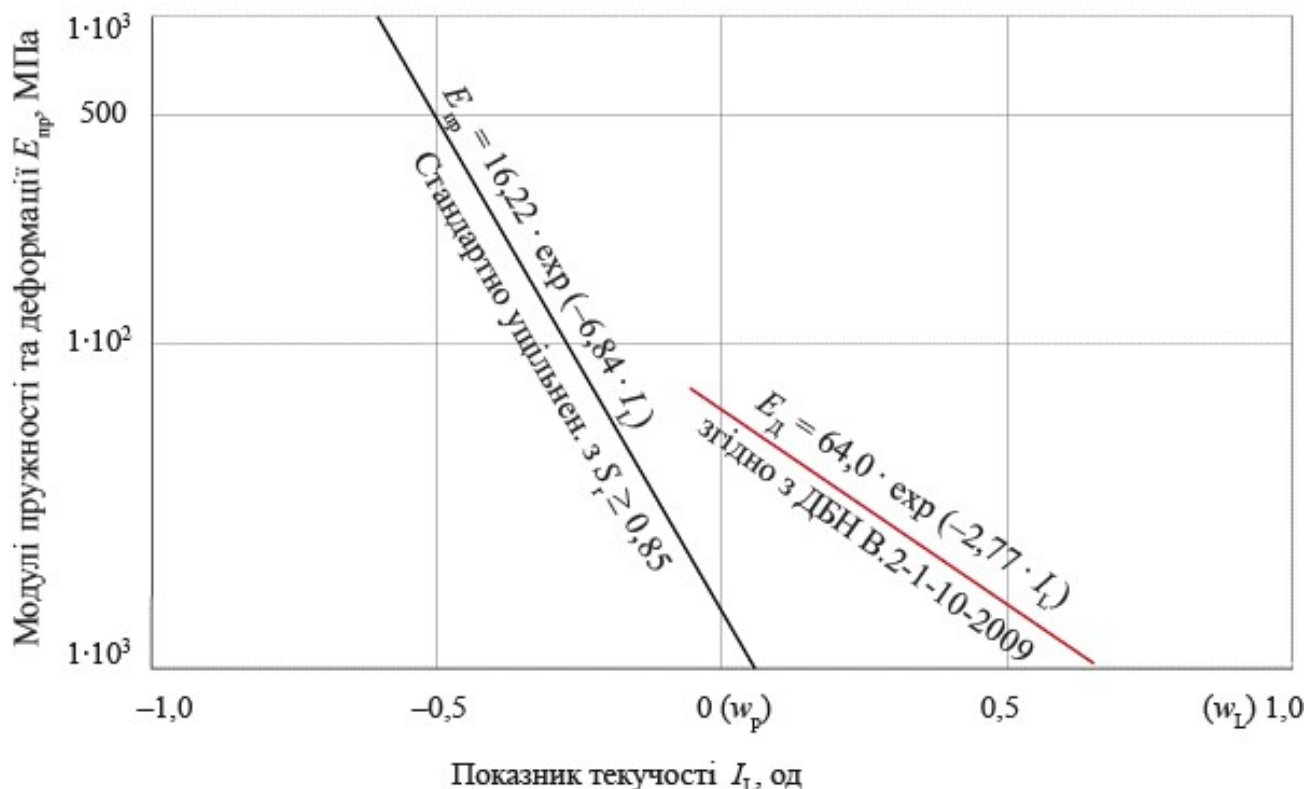


Рисунок 6 — Порівняння залежностей модулів деформації і модулів пружності суглинків від показника I_L , коли $S_r \geq 0,8$

Figure 6 - Comparison of the loam deformation modulus and elasticity modulus dependences from I_L when $S_r \geq 0.8$

Висновки

1. Виконана робота дає можливість для цивільного будівництва користуючись методом динамічного зондування, на початкових етапах проектування не тільки досить добре та якісно диференціювати геотехнічний розріз за несною здатністю ґрунтових ширів, які його складають, але і кількісно, більш-менш ефективно і точно, оцінювати фізико-механічні показники ґрунтів відповідно до середніх табличних їх значень у чинних нормативних документах без відбирання зразків-монолітів структурованих ґрунтів.

2. Теоретичний аналіз показав, що чинні нормативні дані не можуть бути ніяким чином використано як прототип під час оцінювання механічних показників деформованих техногенних ґрунтів, з яких споруджують штучні інженерні ґрунтові споруди.

3. Для забезпечення надійної та довговічної роботи дорожніх одягів автомобільних доріг і аеродромів, в їх робочому шарі не повинно бути ґрунтів із густиною сухого ґрунту меншою ніж густина сухого ґрунту на межі розкочування (нижній межі пластичності). Найкраще, коли середнє значення густини сухого ґрунту техногенного ущільненого ґрунту в робочому шарі буде у межах $(1,05 \div 1,1) \rho_{d_{w_p}}$

4. При неможливості виконання з якихось причин останньої вимоги, слід застосовувати методи армування ґрунтів геосинтетиками або розробляти спеціальні заходи для збільшення несної здатності ґрунтів.

Перелік посилань

1. ДБН В.2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Київ, 2009. 85 с. (Інформація та документація).
2. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу. Київ, 2004.
3. ВБН В.2.3-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. Київ, 1997. 98 с. (Інформація та документація).
4. Довідник № 1 розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів покриття і основи дорожнього одягу та навантажень від нормативних засобів. Київ, 2017. 39 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ Б В.2.1-9:2016 Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням. Київ, 2017. 25 с. (Інформація та документація)
6. ДСТУ Б В.2.1-2-96 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація (ГОСТ 25100-95). Київ, 1997. 51 с. (Інформація та документація).
7. Приклонський В.А. Ґрунтоведение. Часть первая. Издание 3-е. Москва, 1955. 430 с.
8. Литвиненко А.С. До питання визначення розрахункових значень показників деформативності і міцності зв'язних ґрунтів при розрахунках дорожніх одягів автомобільних доріг. Автошляховик України. 3(255). Київ, 2018. С. 44. DOI: 10.33868/0365-8392-2018-3-255-37-44.
9. Литвиненко А.С. Обґрунтування сучасної методики лабораторного визначення модуля пружності зв'язних ґрунтів та їх розрахункового стану в дорожній конструкції (Частина 2). Автошляховик України. 1(261). Київ, 2019. 54. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-48-54.
10. Безрук В.М., Костірко М.Т. Геология и грунтоведение. Дориздат. Москва, 1955. 327 с.
11. Хархута Н.Я., Васильев Ю.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Транспорт. Москва, 1975. 288.

DETERMINATION OF NORMATIVE VALUES OF MECHANICAL INDICATORS OF BONDED SOILS BASED ON DYNAMIC PROBING DATA

Lytvynenko Anatoalii Semenovich, route engineer, M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine. asl.weise@gmail.com, +380676992514, <https://orcid.org/0000-0002-7414-4731>.

Kushnirova Oksana Mykolaivna, National Transportation University, Department of Transportation Construction and Property Management, Senior Lecturer, kushnirovao@gmail.com. <https://orcid.org/0000-0001-6011-5609>.

Absract. In the work on the basis of analytical analysis of tabular data, both current and previous domestic regulatory documents on civil engineering, for mechanical indicators of bonded soils of natural occurrence graphic and analytical (formula) interpretation of these values in relation to the values of the dynamic probing index of P_d , MPa, and yield index I_L , units, for the degree of water saturation of these soils $S_r \geq 0.8$ units is given.

Correlation with the value of dynamic probing of P_d , MPa allows not only to differentiate engineering and geological (geotechnical) cross-sections, more or less detailed, but also to estimate the load-bearing capacity of selected layers of bonded soils accurately enough.

The theoretical analysis has shown that the values of mechanical indicators of natural bonded soils adopted in the current regulatory documents, even taking into account their structural strength, can not be directly used as a prototype to assess similar indicators of compacted technogenic soils of artificial structures in the form of embankments of hydraulic dams, road embankments or airfields. This is due to the fact that in the vast majority of cases in civil construction assessed the properties of soils in the plastic state, which tend to have a lower density of dry soil than at the border of rolling, and a mandatory condition for the use of such soils in artificial soil structures is their compliance with the requirements of the so-called standard compaction, that is, the density of dry soil there should be more than the density of dry soil at the border of rolling. These soils are in a solid state (their concentration is $\geq 85\%$) and indeed (through direct contact between the soil parts) work as an elastic body and can be characterized by a modulus of elasticity with a corresponding small

elastic deflection $l_{\max}$ and a sufficiently large design critical resistance value of $R_0 \geq 0.6$ MPa, which must be determined at each laboratory test of the samples before they fracture or disproportional movement of the stamp.

Keywords: regulatory documents, tabular data, bonded soils, natural, mechanical properties, graphical interpretation, analytical dependencies.

References

1. Ministry of Regional Development of Ukraine. (2009). DBN V.2.1-10-2009 Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia [DBN V.2.1-10-2009 Foundations and foundations of buildings. Basic design provisions]. Kyiv, 85.
2. UkrAvtoDor. (2004). VBN V.2.3-218-186-2004 Sporudy transportu. Dorozhniy odyah nezhorstkoho typu [VBN V.2.3-218-186-2004 Transport facilities. Non-rigid pavement]. Kyiv, 105.
3. UkrAvtoDor. (1997). VBN V.2.3-218-008-97 Proektuvannia i budivnytstvo zhorstkykh ta z zhorstkymy prosharkamy dorozhnikh odyahiv [VBN V.2.3-218-008-97 Designing and construction of rigid and rigid layers of pavement]. Kyiv, 98.
4. KhNRU (2017). Dovidnyk N 1 rozrakhunkovykh kharakterystyk gruntiv, materialiv pokryttya i osnovy dorozhn'oho odyahu ta navantazhen' vid normatyvnykh zasobiv [Handbook № 1 designing characteristics of soils, paving materials and bases of pavement and loads from regulatory means]. Kharkiv, 39.
5. DP "UkrNDNC". (2017). DSTU B V.2.1-9:2016 Grunty. Metody pol'ovykh vyprobuvan' statychnym i dynamichnym zonduvannyam [DSTU B V.2.1-9:2016 Soils. Field test methods by static and dynamic sounding]. Kyiv, State Standard of Ukraine, 25.
6. Derzhbud Ukrayiny (1997). DSTU B V.2.1-2-96 Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Klasyfikatsiya (HOST 25100-95) [DSTU B V.2.1-2-96 Bases and foundations of building and structures (NOST 25100-95)]. Kyiv, 1997. 51 p.
7. Priklonskyi V.A. (1955). Hruntovedenye. Chast' pervaya. Yzdanye 3-e [Soil science. Part one. 3rd edition]. Moscow, Hosheolohtekhyzdat, 430.
8. Lytvynenko A.S. (2018). Do pytannya vyznachennia rozrakhunkovykh znachen' pokaznykiv deformativnosti i mitsnosti zv'yaznykh hruntiv pry rozrakhunkakh dorozhnikh odyahiv avtomobil'nykh dorih [On the question of determining the calculated values of indicators of deformability and strength of cohesive soils in the calculation of road pavements]. *Avtošljachovyk Ukraïny*. Kyiv, 42. DOI: 10.33868/0365-8392-2018-3-255-37-44.
9. Lytvynenko A.S. (2019). Obgruntuvannia suchasnoyi metodyky laboratornoho vyznachennia modulya pruzhnosti zv'yaznykh gruntiv ta yikh rozrakhunkovoho stanu v dorozhniy konstruktsiyi (Chastyna 2) [Substantiation of modern methods of laboratory determination of the modulus of elasticity of cohesive soils and their calculated state in the road structure (Part 2)]. Kyiv, 54. DOI: 10.33868/0365-8392-2020-1-261-48-54.
10. Bezruk V.M., Kostirko M.T. (1955). Heolohyya y hruntovedenye [Geology and soil science]. Doryzdat, Moscow, 327.
11. Kharkhuta N.Ya., Vasyliiev Yu.M. (1975). Prochnost, ustoychyvost y uplotnenye hruntov zemlyanoho polotna avtomobyl'nykh doroh [Strength, stability and compaction of soils of subgrade of highways]. Moscow, Transport, 288.