



УДК 625.7/8

©А. С. Литвиненко, інженер шляхів сполучення

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ЗНАЧЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ДЕФОРМАТИВНОСТІ І МІЦНОСТІ ЗВ'ЯЗНИХ ҐРУНТІВ ПРИ РОЗРАХУНКАХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Lytvynenko, A. S., Highway Engineer

TO THE ISSUE OF DETERMINATION OF THE DESIGN VALUES OF DEFORMATIVITY
AND COHESIVE SOILS STRENGTH INDICATORS AT THE CALCULATION
OF ROAD PAVEMENTS OF HIGHWAYS

Анотація: На основі літературних джерел, новітніх лабораторних досліджень і теоретичного аналізу обґрунтовуються нові, більш об'єктивні, розрахункові значення показників деформативності та міцності зв'язних ґрунтів при дотриманні яких, у процесі спорудження земляного полотна або реконструкції автомобільних доріг, забезпечується триваліша і надійніша експлуатація всіх типів дорожніх одягів, зокрема і з урахуванням руху сучасних великовантажних, багатовісних автомобілів.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожній одяг, земельне полотно, робоча зона, показники деформативності, розрахункові значення, великовантажні автомобілі.

Аннотация: На основе литературных источников, новейших лабораторных исследований и теоретического анализа обосновываются новые, более объективные, расчетные значения показателей деформативности и прочности связных грунтов при соблюдении которых, в процессе сооружения земляного полотна или реконструкции автомобильных дорог, обеспечивается более длительная и надежная эксплуатация всех типов дорожных одежд, в том числе и с учетом движения современных большегрузных, многоосных автомобилей.

Ключевые слова: автомобильная дорога, дорожная одежда, земельное полотно, рабочая зона, показатели деформативности, расчетные значения, большегрузные автомобили.

Annotation: We based on the literature sources and the latest laboratory research and theoretical analysis, the new and more objective design values of deformability and cohesive soils strength indicators are justified. Meeting these indicators during the construction of subgrade or the reconstruction of highways will ensure more long-term and reliable operation of all types of road pavements while taking into account the traffic of modern heavy duty multi-axis vehicles.

Keywords: highway, road pavement, soil of subgrade, working area, deformability indicators, design values, heavy duty vehicles.

Вступ

Вже багато десятиліть у вітчизняній практиці дорожнього будівництва (зокрема й України у складі колишнього СРСР) існує суттєва розбіжність між табличними розрахунковими значеннями показників деформативності та міцності зв'язних ґрунтів

земляного полотна, якими користуються при розрахунках дорожніх одягів [1, 2] і тими їх значеннями, які насправді повинні бути при дотриманні проєктантами і будівельниками вимог чинних у всі ці часи таких нормативних документів, як [3], щодо ущільнення ґрунтів у так званій **робочій зоні** [4, С. 7].



Ця розбіжність зумовлена, як складністю визначення в лабораторних і польових умовах модулів деформації та пружності ґрунтів, так і недостатнім усвідомленням науковцями стану ґрунтів у **робочій зоні**, як безумовно штучній інженерній конструкції автомобільної дороги та бажанням компенсувати досить велику деформативність природних ґрунтів в основі невисоких насипів [4, С. 8] завдяки більшій міцності та товщині дорожніх одягів [5, С. 31–32].

А без усунення врешті-решт цієї розбіжності стан і якість автомобільних доріг в Україні суттєво не поліпшиться, незважаючи на значні фінансові витрати як на регулярні та малопродуктивні ремонти дорожніх покриттів, так і через застосування певної кількості зважувальних станцій на дорогах, оскільки передусім необхідно змінити основні принципи проектування й будівництва дорожніх конструкцій шляхом значного покращення їх якості. Саме висвітленню цього питання і присвячена наша робота.

Основна частина

На **рис. 1** показані залежності модуля деформації суглинку від його густини сухого ґрунту (ґрунтового каркаса) і вологості в інтерпретації Н. Я. Хархута і Ю. М. Васильєва [6, С. 93] **рис. 1-а** та В. Ф. Бобкова і В. М. Безрука [7, С. 93] **рис. 1-б**, які побудовані за одними і тими ж даними. Як видно з цього рисунка всі ці графіки є не лише малоінформативними, але з них навіть можна зробити хибні висновки, що і роблять автори [6, С. 92]: «Оказалось, что модули деформации увеличиваются лишь до определенного значения плотностей, после которых дальнейшее уплотнение ведет уже к снижению модулей». Однак аналіз відхилення верхніх частин графіків: $E_0=f(0,97\omega_0)$, та $E_0=f(0,95\omega_0)$ **рис. 1-а** в бік збільшення значень, E_0 практично при $\omega_1/\omega_0=const$ і їх «гальмування» перед відносною густиною $\frac{\rho d}{\rho d_{max}}=1,0$ свідчить, що це виглядає на них доволі штучно.

Це підтверджується, коли подати ту ж саму інформацію за модулями деформації не у вигляді графіків, як на **рис. 1**, а у вигляді поля значення показника E_0 в координатах вологості (ω_0) і густини сухого ґрунту $\rho d \text{ max } \text{г/см}^3$, як показано на **рис. 2**. Додатково ця ж інформація продубльована таблицею всіх використаних показників, яка показана у правій верхній частині **рис. 2**.

Очевидно, що така інтерпретація вже є значно інформативнішою і кориснішою для подальшого аналізу. З одного боку, вона заперечує неможливість досягнення при ущільненні ґрунтів їхньої густини сухого ґрунту більшої за $\rho d \text{ max}$, тобто з коефіцієнтами $k_{\text{ущ}}=1,05-1,10$, а з другого боку, що ще більш важливо, вона свідчить про різке зменшення значень модулів деформації вже при напівтвердому

стані ґрунту ($I_L=0-0,25$), тобто при відносній розрахунковій вологості $<0,65 \omega_L$ (шкала $\frac{\omega}{\omega_L}$ розташована у верхній частині **рис. 2**), що суперечить всім як колишнім, так і чинним нормативним документам з розрахунку дорожніх одягів. Подібну інформацію у табличному вигляді ще можна побачити у роботі [8, С. 14]. Також про невеликі значення модулів деформації штучно ущільнених зв'язних ґрунтів в інтервалі вологостей між ω_p і ω_L (тобто у їх формально пластичному стані) свідчать і інші джерела [4, С. 108–109; 9, С. 29–30], коли всі наведені там дані привести до одного масштабу в координатах $lgP-lg\lambda$, де P – питомий тиск під штампом, а λ – відносна деформація основи штампа в процесі випробувань.

Ще більш важливим, з **рис. 2**, є висновок про недоцільність взагалі розглядати як розрахункові стани ґрунтів у робочій зоні, для яких відносні розрахункові вологості $>0,6\omega_L$, як такі, що мають дуже невелику густину сухого ґрунту $k_{\text{ущ}} 0,9 \leq \rho d \text{ max}$, а це суперечить вимогам до проектування автомобільних доріг [10, С. 22 (27)].

Таким чином можна стверджувати, що для гарантовано надійної роботи дорожніх одягів (тобто незалежно від погодно-кліматичних умов) розрахунковий стан штучно ущільненого в **робочій зоні** ґрунту повинен відповідати густині сухого ґрунту із середнім значенням не менше $k_{\text{ущ}}=1,02-1,05\rho d \text{ max}$, а вологості при ущільненні у межах $0,9-0,95\omega_0$ і при цьому не покладатись на водонестійку структурну міцність пористих природних ґрунтів.

Особливого значення при цьому набуває питання оцінки потужності робочої зони. Якщо раніше [4, С. 7] для типового на той час автотранспорту вважалось, що її потужність може становити $h=1,0-1,2$ м, то наступні нормативні документи, зокрема [10, С. 19 (24)], її оцінюють вже у 1,5 м. Проведені ж нами розрахунки за тією ж формулою Бусінеска, для сучасних навантажень на вісь і на одне колесо дають товщину робочої зони у 2,0–2,5 м.

Формально це означає, що під час будівництва нових автомобільних доріг (а інколи й за реконструкції деяких ділянок старих найважливіших автомобільних доріг) зазвичай пухкий природний ґрунт у верхніх шарах рельєфу повинен був би бути повністю вибраний шляхом екскавації, на глибину $h=2,0-2,5$ м, а потім повернутий назад з пошаровим ущільненням в середньому із коефіцієнтом ущільнення не менше, як $k_{\text{ущ}}=1,05\rho d \text{ max}$. На жаль, ані виробниками, ані тим паче замовниками цей факт поки не сприймається як необхідний, хоча без його беззастережного впровадження не можна побудувати як надійний і рівний дорожній одяг, так і всю дорогу загалом.

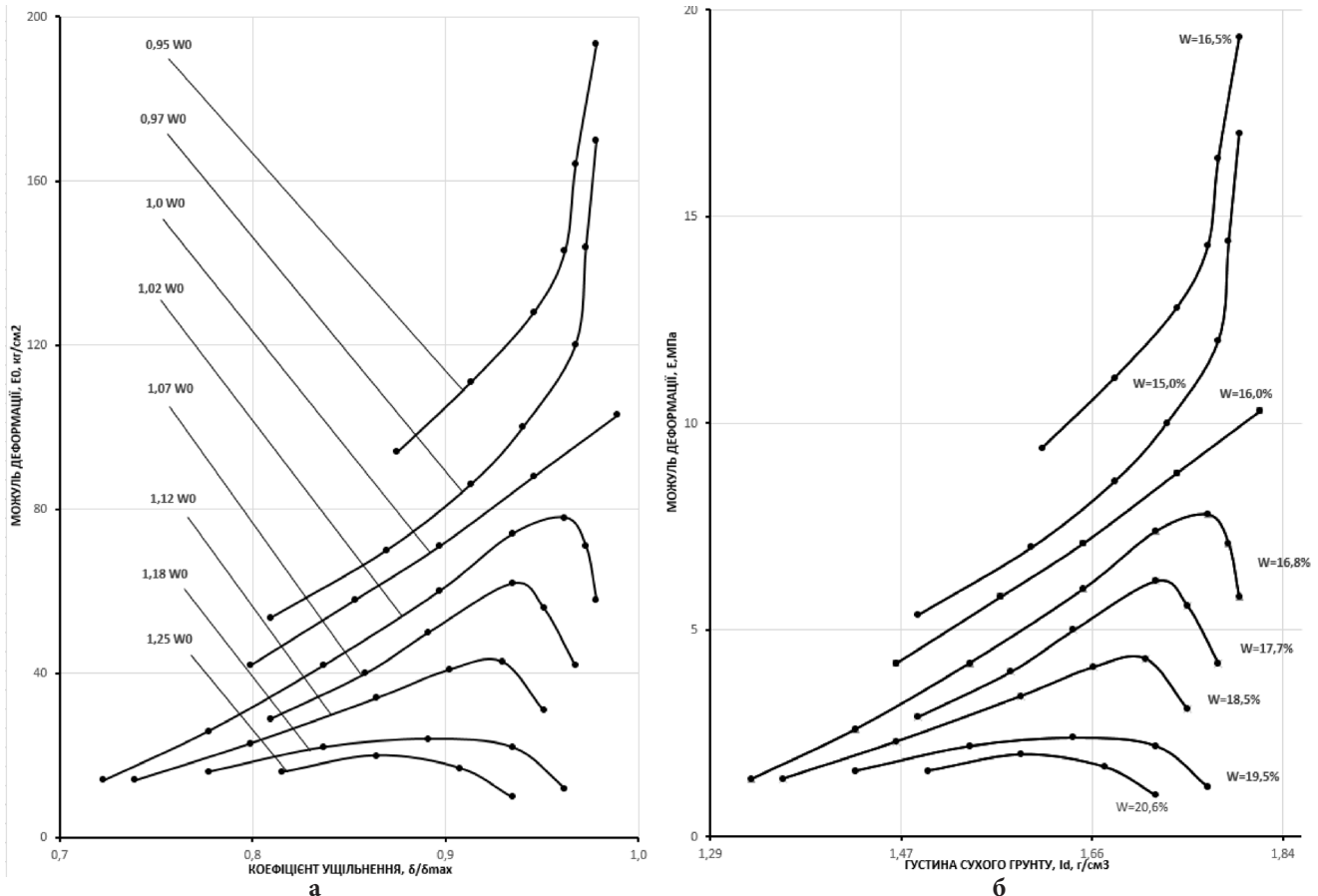


Рис. 1. Залежність модуля деформації важкого суглинку від його густини сухого ґрунту і вологості згідно з (а) [4, С. 93] та (б) [5, С. 93]

Не врахування цієї необхідності призвело в минулі часи (хоча це можна «зрозуміти» ще й з рівня розвитку суспільства, як, до речі, і нині) до того, що потрібний розрахунковий стан ґрунту (штучно ущільненого в земполотні) в розрахунках дорожніх одягів був підмінений штучним розрахунковим станом у вигляді структурно міцного природного ґрунту, і вже для цього ґрунту: «по измеренным деформациям дорожной одежды или напряжениями в ней, вычисляют модуль деформации ґрунта путем пересчетов по теоретическим формулам» [11, С. 13].

У зв'язку з цим М. М. Іванов, підводячи підсумки багаторічних досліджень «ДорНДІ», наполягав: «4. Определение модулей деформации ґрунта следует производить исключительно при ненарушенной структуре ґрунта» [12, С. 8], з чим погоджувались і інші дослідники, зокрема і М. М. Троїцька [9, С. 58]. Констатуючи загальну думку сучасних йому дослідників, яка панувала на той час в дорожній науці СРСР, М. О. Пузаков пише [13, С. 40]: «Поэтому единственный в настоящее время возможный путь для назначения расчетных модулей деформации ґрунтов при новом строительстве – это пользование табличными данными, приводимыми в инструкциях по назначению конструкций дорожных одежд.

Для составления этих таблиц применен косвенный метод «обратного пересчета», использующий данные о службе дорог в различных природный условиях на основе общепринятого метода расчета».

Отже, прийняті як раніше, так і нині, значення модулів деформації відбивають не притаманні штучно укладеним та ущільненим ґрунтам властивості, а є певною інтерпретацією модулів деформації природних структурованих ґрунтів у прив'язці до якихось досить мінливих конкретних природних умов і типових для того часу транспортних засобів.

Ця традиція продовжилась і в наступні роки коли фактично завищені (через структурну міцність) значення показників міцності (ϕ , C) та деформативності (E_d) ґрунтів (навіть незважаючи на деяке їх формальне зменшення, через збільшення так званих розрахункових вологостей ($\frac{w}{w_l}$) використовувались у розрахунках дорожніх одягів при безперечно досить слабких, через велику пористість, ґрунтів природних основ. Ситуацію ще більше заплутало і додало зайвої та безмістовної роботи проектувальникам додаткове районування території України запропоноване в рекомендаціях [14], а потім у ВБН [2].



Однак найгірше, що згодом, зважаючи на формально-лінійну пропорційність певних ділянок параболічної залежності $\lambda = aP^b$, які найкраще простежуються для неї в логарифмічних координатах ($\lg P - \lg \lambda$, модулі деформації вже стали розглядати, навіть у нормативних документах, як модулі пружності, хоча для пластичного стану ґрунтів в інтервалі між ω_p і ω_L , а саме для цього стану головним чином і надаються ці модулі, вони не можуть бути такими вже за визначенням. Отже, штучно збільшені модулі деформації перетворилися у досить великі значення модулів пружності.

Проведені нами лабораторні дослідження, певне попереднє узагальнення результатів яких показано на **рис. 3** і **рис. 4**, довели, що штучно ущільнені (тобто неструктуровані внаслідок природного літогенезису) ґрунти справді мають дуже невеликі значення модулів деформації та модулів пружності навіть у їх твердому стані, але на межі з пластичним, ($I_L = 0 - (-0,25)$). Різниця між визначенням числових значень модулів деформації і модулів пружності буде показана в одній із наступних наших публікацій, присвяченій саме методиці проведення лабораторних випробувань і методиці обробки отриманих даних, оскільки вимагає значно більшого місця для їх викладення.

Дані для побудови залежності $\mu = f(I_L)$ **рис. 4** (де μ – показник динамічної в'язкості) були отримані й оброблялись згідно з методикою, викладеною у роботі [15, С. 26–31]. Із багатьма іншими роботами автора, дотичними за змістом до цієї, також можна ознайомитись на його сторінках у соцмережах (Facebook, Google, Литвиненко Анатолій Семенович).

Із графіка на **рис. 3** маємо, що для ґрунтів вже твердого стану: $IL = 0 - (-0,25)$; $Sr \geq 0,85$; $\rho_d = \rho_{d \max} = \rho_{d \text{ впр}}$, тобто при $k_{\text{ущ}} \approx 1,0$ модулі пружності становлять лише 20–30 МПа (200–300 кг/см²), що дуже добре корелює із даними **рис. 2**, та іншими згаданими раніше джерелами.

Та вже за станом, коли $I_L = 0 - (-0,25) - (-0,5)$ і який відповідає густині сухого ґрунту з $k_{\text{ущ}} = 1,02 - 1,05 \rho_{d \max}$ розрахунковий модуль пружності при зростає до 100–200 МПа (1000–2000 кг/см²). При цьому найбільший критичний відносний пружний прогин поверхні ґрунту під штампом становить близько $\lambda_{\text{кр}} = 0,002$, тобто є практично на порядок меншим ніж рекомендований для нежорстких дорожніх одягів у літературних джерелах: $\lambda = 0,01 - 0,04$ [9, С. 24; 16, С. 21]. Водночас прийнятий у нормативних документах, наприклад [17, С. 12], нормативний прогин нежорсткого дорожнього одягу, згідно з відповідним перерахунком з формули про необхідний для певних категорій доріг модуль пружності, становить цілком

прийнятних $\lambda = 0,002$. Таким чином у практичному використанні, хоча б формально, намагались отримати завдяки товщині й міцності вже дорожнього одягу, а не **робочій зоні**, більш жорстку і надійну дорожню конструкцію, тобто без достатньо якісного ущільнення власне земляного полотна у **робочій зоні**. Та, на жаль, цього практично не можна забезпечити, особливо в окремі несприятливі періоди року чи окремі роки, через водонестійку структурну міцність доволі пористих $k_{\text{ущ}} = 0,8 - 0,85$ природних ґрунтів при їх періодичному водонасиченні. А збільшення товщини дорожніх одягів [5, С. 31–32] та вартості дорожньо-будівельних матеріалів, які при цьому використовують, є економічно невиправданим, і не гарантує надійної роботи дорожнього одягу протягом тривалого (нормативного) часу. Зрозуміло, що для певних автомобільних доріг варто здійснювати техніко-економічне порівняння вартості заміни природного ґрунту на штучне ущільнення в **робочому шарі**, але можливість якісного ущільнення у ньому ґрунтів з коефіцієнтом ущільнення $\geq 1,05 \rho_d \text{ max}$ завжди гарантує рівність і надійність дорожнього покриття протягом дуже великого терміну роботи дороги.

Для оцінки стану природного ґрунту в основі невисоких насипів і автомобільних доріг у нульових відмітках (та й в усіх інших випадках) варто використовувати розроблену автором методику і обладнання динамічного зондування, як показано в роботі [18, С. 35–39]. Цей метод як на якісному рівні, так і кількісно дає змогу дуже швидко оцінити стан і потужність (пухкого) природного ґрунту в основі насипів, співвідношення потужності такого ґрунту з потужністю **робочої зони** і приймати обґрунтовані проектні рішення при проектуванні автомобільних доріг.

Висновки

1. Наявність як в колишніх, так і в чинних нормативних документах з проектування дорожніх одягів [1, 2] табличних розрахункових значень показників міцності і деформативності зв'язних ґрунтів у **робочій зоні** залежно від так званої розрахункової вологості $\frac{w}{w_p}$, передусім свідчить про досить велику пористість цих ґрунтів і їх невідповідність вимогам стандартного ущільнення.

2. Переважна більшість значень цих показників стосується пластичного стану ґрунтів і тому не може бути й мови про модулі пружності ґрунтів для такого їх стану, а тільки про модулі деформації, хоча це і не заперечує можливості розрахунку дорожніх одягів методами теорії пружності за відсутності інших.

3. Згідно з вимогами стандартного ущільнення, особливо із середніми значеннями коефіцієнта ущільнення $1,02 - 1,05 \rho_d \text{ max}$, чи навіть більше, ґрунти в **робочій зоні** перебувають не тільки у твердому

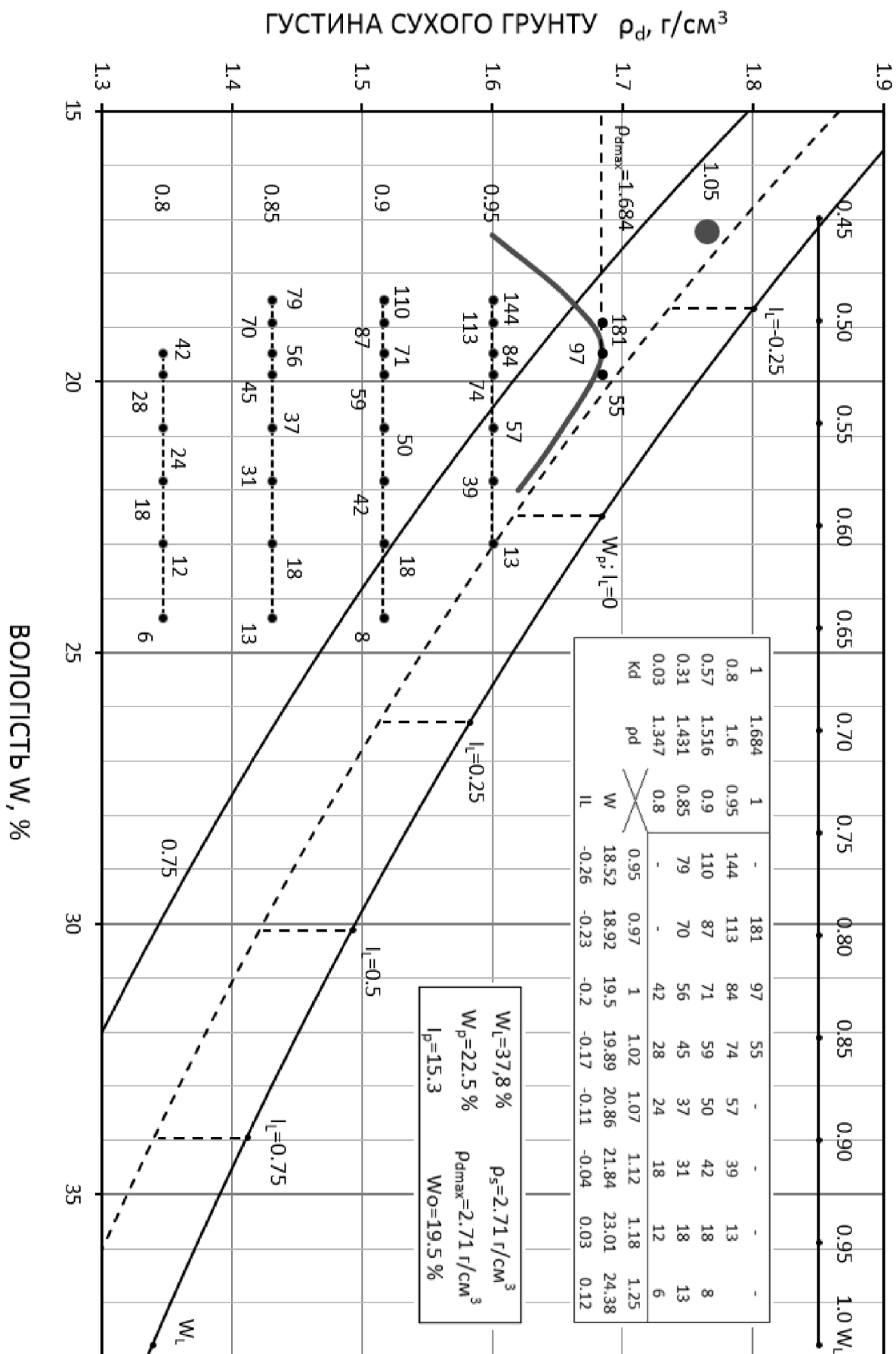


Рис. 2. Розподіл модулів деформації важкого суглинку $E_d, \text{кг/см}^2$ згідно з [4, С. 93, рис. 40] за інтерпретацією автора

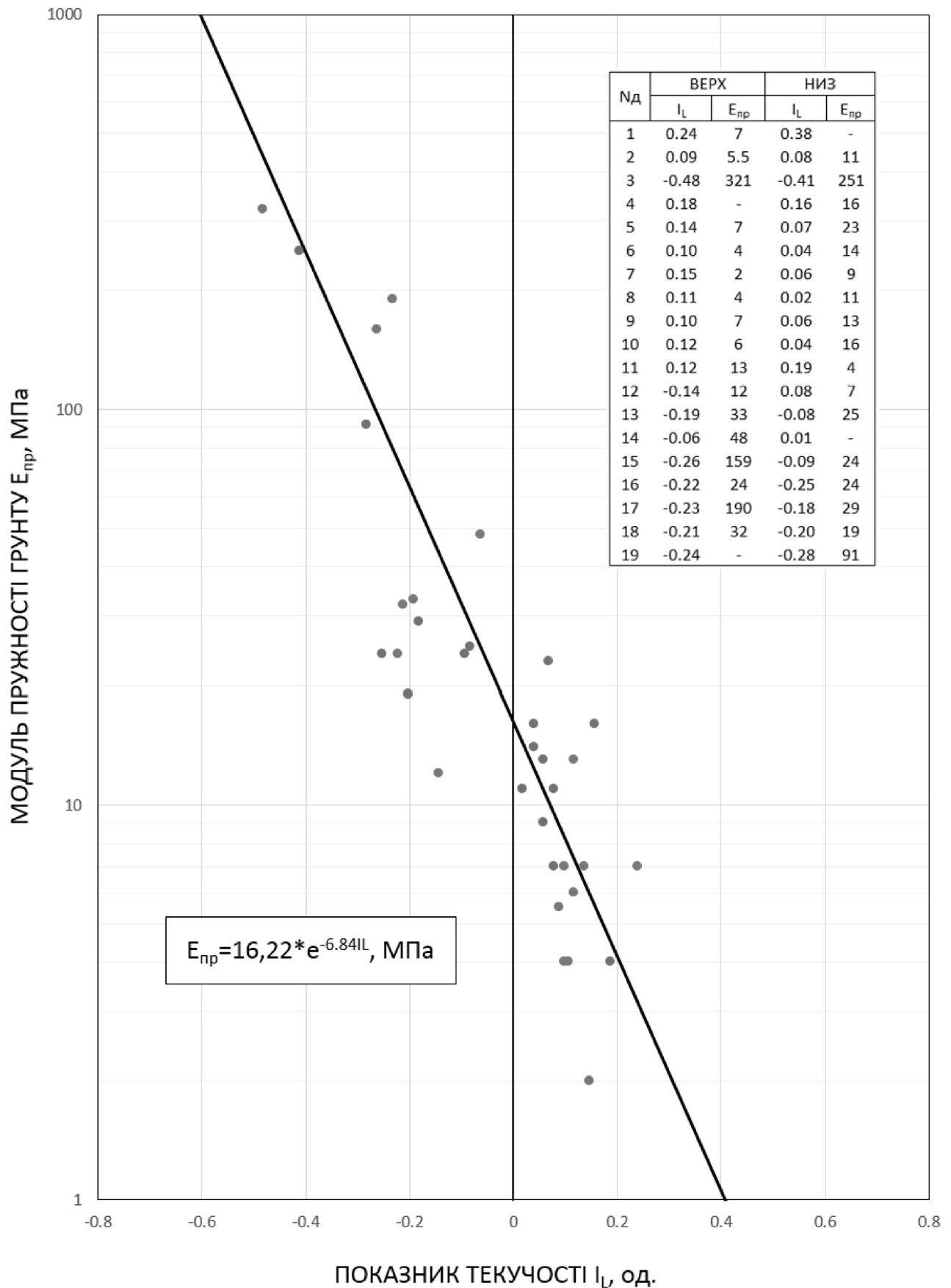


Рис. 3. Залежність модуля пружності свіжоущільненого суглинистого ґрунту від показника текучості E_{пр}=f(I_L); Sr≥ 0,85

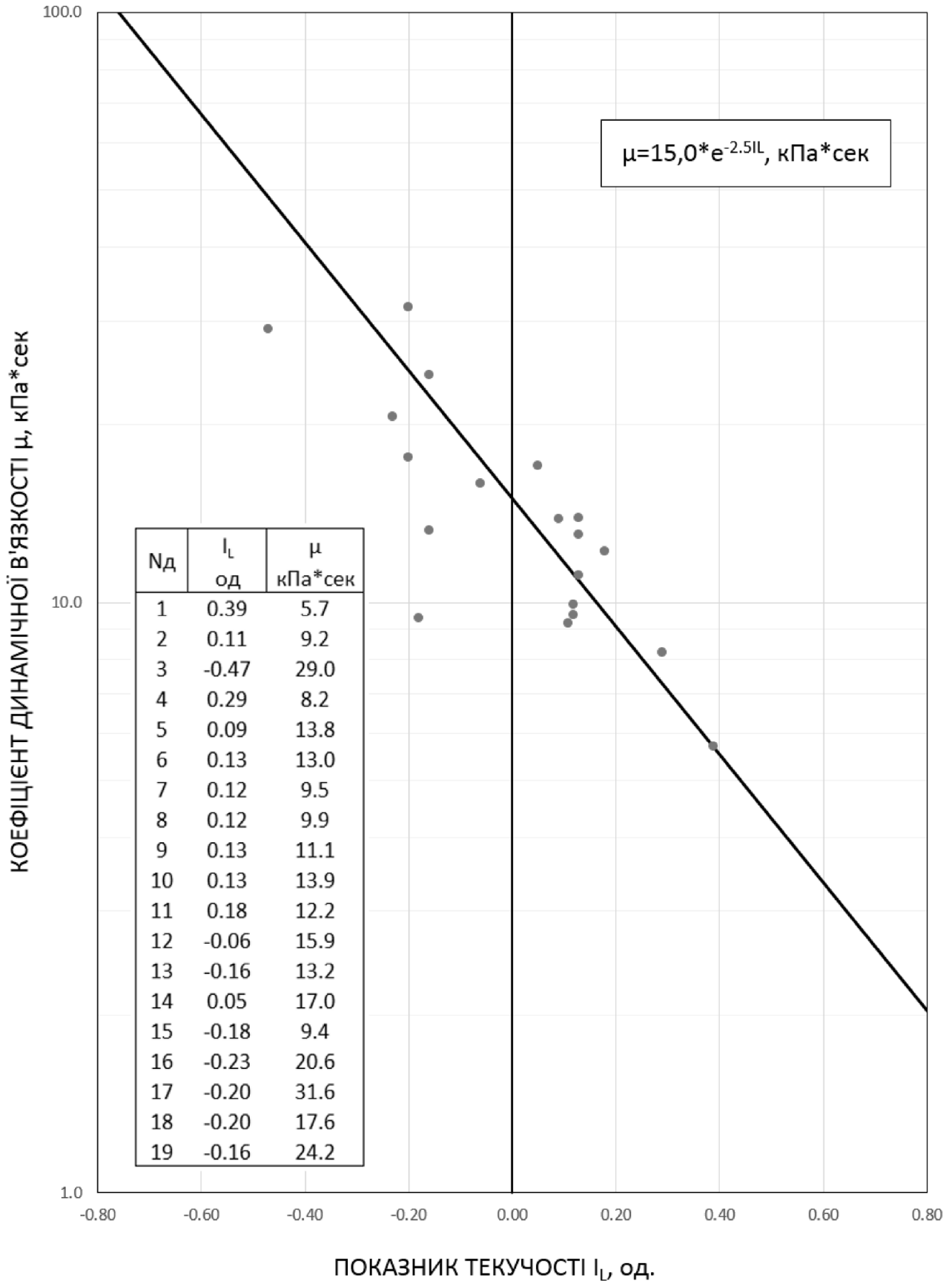


Рис. 4. Залежність коефіцієнта динамічної в'язкості щойноущільненого суглинистого ґрунту від показника текучості $\mu=f(I_L)$, $Sr \geq 0,85$



стані, а й мають велику щільність і пружні властивості, про що свідчать проведені дослідження. У такому стані ґрунти досить добре опираються повторним навантаженням і мають велику несучу здатність. Саме ці показники деформативності та в'язкості ґрунтів варто брати як розрахункові при розрахунках дорожніх одягів.

4. Величина відносного пружного прогину для такого стану ґрунтів становить близько $\lambda=0,002$, а величина критичного навантаження при $k_{уц} = 1,02$ становить $P_{кр} = 0,5$ МПа (5кг/см^2), а при $k_{уц} = 1,05$ сягає $P_{кр} = 0,7-0,8$ МПа ($7-8\text{кг/см}^2$).

5. Продовження досліджень у запропонованому автором напрямі дасть змогу не тільки визначити аналогічні розрахункові показники модулів пружності та коефіцієнтів динамічної в'язкості для інших видів ґрунтів, а й значно покращити стан українських доріг.

6. Підвищення якості земляного полотна у **робочій зоні** згідно з вимогами стандартного ущільнення дасть змогу застосувати полегшені конструкції дорожніх одягів і досягти значної економії дорожніх дорожньо-будівельних матеріалів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів, зі змінами та доповненнями : ВБМ В.2.3-218-008-97. – [Недідючий]. – Київ: НТУ, 1997.
2. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу : ВБН В.2.3-218-186-2004. – [Чинний з 2005-01-01]. – Київ: Укравтодор, 2004.
3. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності : ДСТУ Б В.2.1-12:2009. – [Чинний з 2010-10-01]. – Київ: Мінрегіонбуд, 2010.
4. Бирюла, А. К., Бирюла, В. І., Носич, І. А. Устойчивость ґрунтов дорожнього полотна в степних районах. – М.: Дориздат, 1951.
5. Бирюла, А. К., Зинченко, В. Д. О применимости модуля деформации для характеристики механических свойств ґрунтов и дорожних одежд // Определение модуля деформации ґрунтов: сб. статей. – М.: Автотрансиздат, 1955.
6. Хархута, Н. Я., Васильев, Ю. М. Прочность, устойчивость и уплотнение ґрунтов земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1975.
7. Бабков, В. Ф., Безрук, В. М. Основы ґрунтоведения и механики ґрунтов. – М.: Высшая Школа, 1986.
8. Калужский, Я. А., Батраков, О. Т. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. – М.: Транспорт, 1971.
9. Троицкая, М. Н. Экспериментальные исследования модуля деформации и критического прогиба нежестких дорожных одежд // Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий: сб. статей. – М.: Дориздат, 1952.
10. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво : ДБН В.2.3-4:2015. – [Чинний з 2016-04-01]. – Київ: Мінрегіонбуд, 2015.
11. Бабков, В. Ф. Методы определения расчетных значений модулей деформации ґрунтов // Определение модуля деформации ґрунтов: сб. статей. – М.: Автотрансиздат, 1955.
12. Иванов, Н. Н. Обоснование расчетных параметров для нежестких дорожных покрытий : дисс. канд. техн. наук. – М.: Дориздат, 1990.
13. Пузаков, Н. А. Установление расчетного модуля деформации ґрунта в зависимости от природных условий и конструкции дороги // Определение модуля деформации ґрунтов: сб. статей. – М.: Автотрансиздат, 1955.
14. Методические рекомендации по назначению расчетных параметров ґрунта при проектировании дорожных одежд в УССР. – Харьков: Миндорстрой УССР, 1974.
15. Литвиненко, А. С. Про методи статичного і динамічного зондування як методи прямого польового визначення коефіцієнта динамічної в'язкості ґрунтів // Наука і будівництво. – Київ, 2017. – № 2. – С. 26–31.
16. Иванов, Н. Н. Определение модуля деформации оснований нежестких дорожных одежд // Определение модуля деформации ґрунтов : сб. статей. – М.: Автотрансиздат, 1955.

17. Минтрансстрой СССР. Инструкция по проектированию дорожных одежд не жесткого типа : ВСН 46-72. – [Введена в действие 1985-01-01]. – М.: Транспорт, 1985.

18. Литвиненко, А. С. Про вплив стану ґрунтових основ на стан дорожніх одягів на ділянках автомобільних доріг у нульових відмітках і невисоких насипах // Автошляховик України. – Київ, 2014. – № 6 (242).

REFERENCE

1. VBM V.2.3-218-008-97(1997) Proektuvannya I budivnytvo zhorstkykh ta z zhorstkymy prosharkamy dorozhnykh odjaghiv, zi zminamy ta dopovnennyamy [BBM V.2.3-218-008-97 Design and construction of rigid and rigid layers of road clothing, with changes and additions]. Kyiv: NTU.
2. VBN V.2.3-218-186-2004 (2004) Sporudy transportu. Dorozhnyj odjagh nezhorstkogho typu [VBN V.2.3-218-186-2004 Transport facilities. Road clothes of a non-rigid type]. Kyiv: Ukraudor.
3. DSTU B V.2.1-12:2009 (2010) Grunty. Metod laboratornogho vyznachennya maksimalnoyi shhilnosti [NSTU B V.2.1-12: 2009 Soils. Method of laboratory determination of maximum density]. Kyiv: Minregionbud.
4. Birulya, A. K., Birulya, V. I., Nosich, I. A. (1951) Ustoychivost ґрунтов dorozhnogo polotna v stepnykh rayonakh [Stability of roadbeds in steppe areas]. Moscow: Dorizdat.
5. Birulya, A. K., Zinchenko, V. D. (1955) O primenimosti modulya deformatsii dlya kharakteristiki mekhanicheskikh svoystv ґрунтов I dorozhnykh odezhd. Sbornik statey. Opredelenie modulya deformatsii ґрунтов [On the applicability of the strain modulus for characterizing the mechanical properties of soils and road clothes] Sbornyk statey. Opredelenye modulya deformatsyy ґрунтов [Digest of articles. Determination of the soil deformation modulus]. Moscow: Autotransizdat.
6. Kharkhuta, N. Ya., Vasilev, Yu. M. (1975) Prochnost, ustoychivost I uplotnenie ґрунтов zemlyanogo polotna avtomobilnykh dorog [Strength, stability and compaction of the soils of the roadbed of motor roads]. Moscow: Transport.
7. Babkov, V. F., Bezruk, V. M. (1986) Osnovy ґрунтов edeniay i mekhaniki ґрунтов [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow: Vysshaya shkola.
8. Babkov, V. F., Bezruk, V. M. (1986) Osnovy ґрунтов edeniya i mekhaniki ґрунтов [Fundamentals of soil science and soil mechanics]. Moscow: Transport.
9. Troitskaya, M. N. (1952) Eksperimentalnye issledovaniya modulya deformatsii I kriticheskogo progiba nezhestkikh dorozhnykh odezhd [Experimental studies of the modulus of deformation and critical deflection of non-rigid pavements] Sbornik statey. Obosnovanie raschetnykh parametrov dlya nezhestkikh dorozhnykh pokrytyi [Digest of articles. Justification of design parameters for non-rigid pavements]. Moscow: Dorizdat.
10. DBN V.2.3-4:2015 (2015) Avtomobilnyi doroghy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytvo [NBN V.2.3-4: 2015 Motorways. Part I. Design. Part II Construction]. Kyiv: Minregionbud.
11. Babkov, V. F. (1955) Metody opredeleniya raschetnykh znacheniy modulye deformatsii ґрунтов. Sbornik statey. Opredelenie modulya deformatsii ґрунтов [Methods for determining the calculated values of soil deformation moduli. Digest of articles. Determination of the soil deformation modulus]. Moscow: Autotransizdat.
12. Ivanov, N. N. (1990) Obosnovanie raschetnykh parametrov dlya nezhestkikh dorozhnykh pokrytyi [Justification of design parameters for non-rigid pavements] (PhD Thesis), Moscow: Dorizdat.
13. Puzakov, N. A. (1955) Ustanovlenie raschetnogo modulya deformatsii ґрунта v zavisimosti ot prirodnykh usloviy konstruksii dorogi [Determination of the calculation modulus of soil deformation, depending on natural conditions and road design]. Sbornik statey. Opredelenie modulya deformatsii ґрунтов [Digest of articles. Determination of the soil deformation modulus]. Moscow: Autotransizdat.
14. Metodicheskie rekomendatsii po naznacheniy uraschetnykh parametrov ґрунта pri proektirovani dorozhnykh odezhd v USSR [Methodical recommendations for designation of soil parameters in the design of road clothing in the Ukrainian SSR] (1974). USSR, Kharkiv: Mindorstroy.
15. Lytvynenko, A. S. (2017) Pro metody statychnoghoi dynamichnogho zonduvannya jak metody prjamogho poljovogho vyznachennya koefitsijenta dynamichnoyi v'язkosti ґрунтів [On methods of static and dynamic sounding as methods of direct field determination of the coefficient of dynamic viscosity of soils]. Nauka I budivnytvo, no 2, pp. 26–31.
16. Ivanov, N. N. (1955) Opredelenie modulya deformatsii osnovaniy ne zhestkikh dorozhnykh odezhd [Determination of the modulus of deformation of the bases of non-rigid pavements.] Sbornik statey. Opredelenie modulya deformatsii ґрунтов [Digest of articles. Determination of the soil deformation modulus.]. Moscow: Avtotransizdat.
17. VSN 46-72 (1985) Mintransstroy SSSR. Instruksiya po proektirovaniyu dorozhnykh odezhd ne zhestkogo tipa [DBN 46-72 Ministry of Transport of the USSR. Instructions for designing road cloths of a non-rigid type]. Moscow: Transport.
18. Lytvynenko, A. S. (2014) Pro vplyv stanu ґрунтовykh osnov na stan dorozhnykh odjaghiv na diljankakh avtomobilnykh dorogh u nuljovykh vidmitkakh I nevysokykh nasypakh [bout the influence of the state of ground foundations on the condition of road clothing on sections of highways at zero markings and low embankments]. Avtoshlyahovyk Ukrainy, no 6 (242).