

АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАУКОВОГО ТА ПРАКТИЧНОГО МАТЕРІАЛОЗНАВСТВА

УДК 624.124

Михайловська О. В.,

etikhaylovskaya27@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7451-3210

к.т.н., доц., доцент кафедри нафтогазової інженерії та технологій,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ ОПТИМАЛЬНОЇ ВОЛОГОСТІ СУМІШІ «ГРУНТ-БУРОВИЙ ШЛАМ»

Анотація. Встановлено, що значна кількість дослідників встановлює значення оптимальної вологості в залежності від меж пластичності, тобто виявляється, що оптимальна вологість залежить від вмісту глинистих часток у ґрунті. Ступінь дисперсності ґрунтів залежить від умов утворення їхнього мінералогічного складу. Оптимальні характеристики ущільненості суттєво залежать від речовинного складу ґрунтів, тому при вивченні закономірностей ущільнення необхідно враховувати взаємозв'язок між оптимальною вологістю й показниками пластичності. За результатами лабораторних досліджень визначено середню вологість зразків бурового шлему, вологість на межі текучості, вологість на межі розкочування. Досліджено зразки, що складаються із бурового шлему та суглинку у співвідношенні 50:50. Виготовлено зразки ґрунту з необхідною вологістю (від 12% до 20% з кроком 2%) та при проведенні експерименту залишено для рівномірного розподілення вологи. Ґрунт попередньо подрібнено та просіяно через сито з отворами 1,0 мм. Наважки використали масою 3 кг для проведення подальших дослідів по визначенню оптимальної вологості ґрунту для його максимального ущільнення. Визначено середню вологість зразків. Встановлено, що найменше значення оптимальної вологості можливо отримати за розрахунками відповідно до методики В.І. Бірулі та значення оптимальної вологості отримані за формулою Бірулі В.І та за методикою О.К. Бірулі, Н.Ф.Сасько є близькими та відрізняються на величину до 3%. Оптимальну вологість визначено з використанням методики максимального ущільнення ґрунту з застосуванням приладу МДУ-1. Встановлено, що значення не значно відрізняється від значень оптимальної вологості визначеної за методикою за Бірулею В.І. та за інструкцією ДорНДІ. Запропоновано передбачити заходи доведення вологості ґрунту до оптимальної, якщо вологість ґрунту відрізняється від цього значення. Якщо ґрунт має більшу вологість від оптимальної то необхідно передбачити осушення шляхом природного висушування на повітрі або додаванням осушуючих добавок.

Ключові слова: вологість ґрунту, суглинок, метод, ущільнення, ґрунт.

Mykhailovska O. V.,

etikhaylovskaya27@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7451-3210

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at Oil and Gas Engineering and Technology,

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic», Poltava, Ukraine

TECHNOLOGY OF INSTALLATION OF SOIL-CEMENT BLOCKS WITH THE ADDITION OF ASH

Abstract. It was determined that a significant number of researchers set the value of optimal humidity depending on the limits of plasticity. That is, it was determined that the optimal humidity depends on the content of clay particles in the soil. The degree of dispersion of soils depends on the conditions of formation of their mineralogical composition. Optimal compaction characteristics depend significantly on the material composition of soils. It was determined that when studying compaction patterns, it is necessary to take into account the relationship between optimal humidity and plasticity indicators. Based on the results of laboratory studies, the average moisture content of the drilling mud samples, the moisture content at the yield point,

and the moisture content at the rolling limit were determined. Samples consisting of drilling mud and loam in a ratio of 50:50 were studied. Soil samples with the required moisture content (from 12% to 20% in steps of 2%) were prepared and left for uniform distribution of moisture during the experiment. The soil is pre-crushed and sifted through a sieve with holes of 1.0 mm. Weights of 3 kg were used for further experiments to determine the optimal soil moisture for its maximum compaction. The average moisture content of the samples was determined. It was established that the lowest value of optimal humidity can be obtained by calculations according to the methodology of V.I. Biruli. Values of optimal humidity were obtained by the formula of V.I. Biruli and the method of O.K. Biruli, N.F.Sasko are close and differ by up to 3%. The optimal humidity was determined using the method of maximum soil compaction using the MDU-1 device. It was established that the value does not significantly differ from the values of the optimal humidity determined by the method according to V.I. Birule. and according to the instructions of DorNDI. It is proposed to provide for measures to bring the soil moisture to the optimum, if the soil moisture differs from this value. If the soil has more moisture than the optimum, then it is necessary to provide for drying by natural drying in the air or by adding drying additives.

Key words: soil moisture, loam, method, compaction, soil.

JEL Classification: Q24; Q26

DOI 10.32782/2522-1221-2024-37-01

Постановка проблеми. При влаштуванні земляного полотна доріг, штучно покращених основ, зведенні насипів, при плануванні територій, також при зберіганні відходів буріння у сховищах доводиться ущільнювати ґрунти, у тому числі й пілувато-глинисті.

Ущільнення – найдешевший і найефективніший спосіб підвищення міцності та стійкості ґрунту, зменшення деформативності й фільтрації, ліквідації небажаних властивостей ґрунтів [1, 2]. При цьому підвищується міцність, жорсткість ґрунту, знижується водопроникність і капілярність, прискорюється консолідація глинистих ґрунтів. Максимальний ступінь ущільнення необхідний у верхніх шарах насипу, в яких виникають найбільші напруження від зовнішніх навантажень. Метою ущільнення є створення нової, більш досконалої, структури й текстури ґрунту. Зв'язні і незв'язні ґрунти ущільнюються по-різному. В зв'язних ґрунтах мінеральні частки й агрегати розділені між собою водними плівками, в яких вода перебуває під впливом міжмолекулярних сил, що визначає їх підвищену в'язкість і опір зрушенню. Ефект ущільнення оцінюється величиною досягнутої щільності скелета ґрунту. Витрачаючи ту саму роботу на ущільнення ґрунтів з різною вологістю, отримують різні значення величини щільності скелета ґрунту.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Згідно з нормативною літературою [3], визначення оптимальної вологості ґрунтів в лабораторних умовах здійснюють у приладі СоюздорНИИ для стандартного ущільнення ґрунтів шляхом пошарового трамбування ґрунту ударами вантажу масою 2,5 кг, який падає з висоти 300 мм, при цьому загальне

число ударів повинно складати 120. Однак допускається застосовувати прилади з параметрами, відмінними від приладу СоюздорНИИ, і відповідною зміною методики за умови, що для даного виду ґрунту експериментально доведено ідентичність одержуваних при цьому результатів [3]. Однак цей метод потребує досліджень зразків в лабораторних умовах. З метою експрес визначення оптимальної вологості ґрунту використовують теоретичні залежності.

Наприклад Л.Д. Богословський пропонує визначати оптимальну вологість залежно від числа та межі пластичності [4].

Значна кількість дослідників встановлює значення оптимальної вологості в залежності від меж пластичності, тобто виявляється, що оптимальна вологість залежить від вмісту глинистих часток у ґрунті. Зі збільшенням вмісту глинистих часток у ґрунті збільшується й оптимальна вологість. Це явище пояснюється тією обставиною, що при збільшенні вмісту глинистих часток зростає їх поверхнева активність тому й підвищується оптимальна вологість [5].

Постановка завдання. Метою дослідження є проаналізувати методики визначення оптимальної вологості суміші ґрунту та бурового шламу за допомогою теоретичних залежностей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ґрунти, що складаються з подрібнених твердих частинок мінералів, можуть бути двофазною системою яка складається з твердих частинок і води, твердих частинок і повітря або трифазною системою, яка складається з твердих частинок, води, повітря.

Між дисперсною фазою та дисперсним середовищем існує постійна та безперервна взаємодія.

Ступінь дисперсності ґрунтів залежить від умов утворення їхнього мінералогічного складу. Чим тонше подрібнена речовина, тим вища його сумарна поверхня, а отже, тим значніше розвинені явища взаємодії на поверхнях розділу твердої, рідкої та газоподібної фаз.

Наприклад, частки глинистого мінералу каоліну мають питому поверхню 10 м²/г, а монтморилоніти – 800 м²/г, тобто велику поверхню в сотні квадратних метрів в одному грамі ґрунту, що, безсумнівно, позначається на властивостях природних ґрунтів, що містять такі мінерали.

Л.Д. Богословський пропонує визначати оптимальну вологість за формулою:

$$W_{opt} = W_p + (0,1 \div 0,3) I_p. \quad (1)$$

Де W_{opt} – оптимальна вологість суміші (ґрунту);

I_p – число пластичності;

W_p – межа пластичності;

W_L – межа текучості.

За дослідями, проведеними В.І. Крутовим, оптимальна вологість приймалась на 3% більше вологості на межі пластичності, за інструкцією ДорНДІ $W_{opt} = W_p$.

М.Я. Телегін, Ч.А. Гогентоглер, Є.М. Купріянов також рекомендують $W_{opt} = W_p$. В.І. Біруля пропонує визначати оптимальну вологість в залежності від межі текучості ґрунту:

$$W_{opt} = 0,62W_L \quad (2)$$

Дослідження, виконані О.К. Біруля, Н.Ф. Сасько, А.Ф. Котивицьким, за подальшим розвитком прискореного методу визначення оптимальної вологості та щільності ґрунтів, запропонованого В.І. Біруля, були направлені на встановлення взаємозв'язку між оптимальними за стандартним ущільненням вологостями й верхніми межами пластичності відповідних ґрунтів за допомогою перехідних коефіцієнтів. У результаті обробки даних за 572 зразками ґрунтів різного походження й гранулометричного складу була отримана формула:

$$W_{opt} = 1,5(0,5W_L - 0,25I_p - 0,01) \quad (3)$$

Результати численних досліджень, виконаних різними авторами підтверджують думку про те, що оптимальні характеристики ущільненості суттєво залежать від речовинного складу ґрунтів, тому при вивченні закономірностей ущільнення необхідно враховувати взаємозв'язок між оптимальною вологістю й показниками пластичності, які представляють собою комплексні показники, що визначають дисперсний та мінералогічний склад ґрунту [5].

Дослідження характеристик ґрунту та визначення оптимальної вологості проводили з буро-

вим шламом Яблунівського нафто-газоконденсатного родовища св. № 355. Буровий шлам мав густину 1,49 г/см³, об'єм осаду 1,5 мл, вміст твердих частинок склав 3%, водневий показник рН 6,71. Для досліджень відбирали суглинок тугопластичний з глибини 2 м. Середня вологість зразків ґрунту склала близько 25 %.

За результатами лабораторних досліджень визначено, що буровий шлам мав середню вологість зразків ґрунту 100 %. Його вологість на межі текучості – 36 %, вологість на межі розкочування – 21 %. Буровий шлам відноситься до суглинка текучого. Лабораторні дослідження проводили за лабораторними методиками згідно з ДСТУ Б В.2.1-17: 2009 [6].

Авторами пропонується змішувати ґрунт з буровим шламом в різних пропорціях та визначати його вологість та характеристики з метою визначення оптимальної вологості суміші. Загальний вигляд суміші бурового шламу та суглинка тугопластичного у різних пропорціях наведено на рис. 1.



Рис. 1. Вигляд зразків суміші бурового шламу (а) та суглинка тугопластичного (б) в пропорції (а:б), %: 1 – 70:30; 2 – 50:50; 3 – 80:20; 4 – 60:40

Таким чином, визначали вологість в лабораторних умовах за стандартною методикою [7] (рис.1). Теоретично визначали вологість суміші в певних пропорціях за формулою:

$$W = x_1 \cdot W_1 + x_2 \cdot W_2, \quad (4)$$

де x_1 – частка ґрунту в долях одиниць;

W_1 – природна вологість ґрунту, %;

x_2 – частка бурового шламу в долях одиниць;

W_2 – природна вологість бурового шламу, %.

Результати розрахунків та лабораторних експериментів щодо суміші ґрунту (суглинка тугопластичного) природної вологості та бурового шламу зведено до табл. 1 та рис. 2.

Характеристики суміші ґрунту визначали в лабораторних умовах. Змішували ґрунт (суглинок тугопластичний) в стані природної вологості. Середня вологість зразків ґрунту таким чином склала – 50%.

Найменше значення оптимальної вологості можливо отримати за розрахунками відповідно до методики В.І. Бірулі. Значення оптимальної вологості отримані за формулою Бірулі В.І та за методикою О.К. Бірулі, Н.Ф.Сасько є близькими та відрізняються на величину до 3%. Тобто якщо змішувати буровий шлам з суглинком тугопластичним у пропорції 50:50 отримаємо вологість суміші 50 %. Значення вологості буде відрізнятися від оптимальної, визначеної за методикою В.І. Бірулі майже у 2 рази (таблиця 2).

Ущільнювати ґрунт необхідно при оптимальній вологості згідно з п. 4.21 [10]. Для визначення оптимальної вологості використовуємо методику максимального ущільнення ґрунту з застосуванням приладу МДУ-1 (рис. 3) [5]. Методика полягає у встановленні залежності щільності сухого

глинистого ґрунту від його вологості при трамбуванні зразків із постійною витратою роботи на їх ущільнення (з однаковим прикладеним зусиллям для їх ущільнення) та у визначенні за цією залежністю максимальної величини щільності ґрунту ρ_d . Виготовляли зразки ґрунту з необхідною вологістю (від 12% до 20% з кроком 2%) та залишали для рівномірного розподілення вологи.

Ґрунт попередньо подрібнювали та просіювали через сито з отворами 1,0 мм. Наважки готували масою 3 кг. для проведення подальших дослідів по визначенню оптимальної вологості ґрунту для його максимального ущільнення [4]. Розміри металевого стакану – $h=127\text{мм}$, $d=100\text{мм}$. Маса пустого металевого стакану дорівнює 4800 г. Визначили, що оптимальна вологість суміші суглинка та бурового шламу в пропорції 50:50 склала 24,35%. Встановлено, що це значення не значно відрізняється від значень оптимальної вологості визначеної за методикою за Бірулею В.І. та за інструкцією ДорНДІ.

Таблиця 1

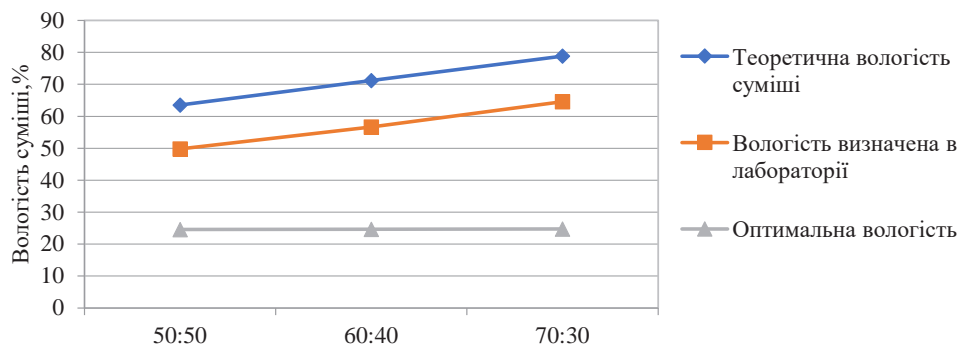
Визначення характеристик суміші бурового шламу і ґрунту

Співвідношення бурового шламу (а) і ґрунту (б) як а:б, %	Теоретична вологість суміші, %	Вологість суміші визначена в лабораторних умовах, %	Різниця вологостей, %	Вологість на межі розкочування, W_p , %	Вологість на межі текучості, W_L , %
50:50	63	50	21	25	40
60:40	70	57	19	28	40
70:30	78	65	17	28	40

Таблиця 2

Визначення оптимальної вологості

Співвідношення бурового шламу (а) і ґрунту (б) як а:б, %	Оптимальна вологість, %				
	За Бірулею В.І.	За інструкцією ДорНДІ	За В.І. Крутовим	За Л.Д. Богословським	За методикою О.К. Біруля, Н.Ф. Сасько ін.
50:50	24,59	25,49	40,85	28,33	24,41
60:40	24,66	28,02	40,97	30,37	25,41
70:30	24,75	28,06	41,12	30,43	25,48



Випадки співвідношення вмісту бурового шламу (а) та ґрунту (б) як а:б, %

Рис. 2. Визначення вологості суміші бурового шламу та ґрунту (суглинок тугопластичний)

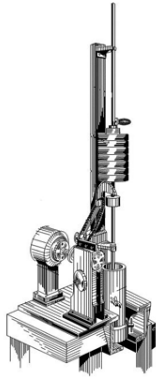


Рис. 3. Прилад для ущільнення ґрунту МДУ-1

Якщо вологість ґрунту відрізняється від оптимальної, необхідно передбачити заходи доведення її до оптимальної. Якщо ґрунт має більшу вологість від оптимальної, то необхідно передбачити осушення шляхом природного висушування на повітрі або додаванням осушуючих добавок (вапно, гіпс, зола тощо).

Висновки і перспективи подальших досліджень у даному напрямі. В результаті досліджень встановлено характеристики бурового шлам, ґрунту майданчика будівництва та їх суміші. Тобто вологість бурового шлам склала 100%. Вологість суглинку тугопластичного склала 25,29%. Тобто якщо змішувати буровий шлам з суглинком тугопластичним у пропорції 50:50 лабораторними дослідженнями отримаємо вологість суміші близько 50%. Визначили, що оптимальна вологість суміші суглинку та бурового шлам у пропорції 50:50 визначена за допомогою приладу МДУ-1 склала 24,35%. Необхідно передбачити заходи щодо зменшення вологості суміші та доведення її до оптимальної. Пропонується проводити осушення ґрунту майданчика будівництва на атмосферному повітрі, з перемішуванням у теплу пору року та введення піску, сухого малозв'язного ґрунту, шлаків, неактивних зол, що укладаються у вигляді дренажних шарів або водопоглинаючих прошарків.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Nikolaidis A. Highway Engineering. Pavements, Materials and Control of Quality [Electronic resource]. – Electronic data. – [Taylor & Francis Group, 2015]. 868 p. URL: <http://ru.bookzz.org/book/2572438/c4c4f0> P B.2.3–218–02070915–757:2009 (дата звернення: 14.02.2024).
2. Vynnykov Yu. Qualitative relationships of water migration in highway embankment clay soils by the results of laboratory and field research / Y.L. Vynnykov, T.V. Lytvynenko. *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво* / Полт. нац. техн. ун-т ім. Юрія Кондратюка. Вип. 2(47). Полтава: ПолтНТУ, 2016. С. 226–232.
3. Павлюк Д.О., Шур'яков М.В., Гладун С.А. Порівняння методів і засобів контролю ущіль-

нення ґрунтів при будівництві земляного полотна. *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво*. Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2016. Вип. 2(47). С. 241–254.

4. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: Монографія / М.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, В.М. Зоценко. – Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. 94 с.

5. Єрмакова Інна Анатоліївна. Особливості динамічного ущільнення ґрунтових сумішей з використанням відходів гірничого виробництва – «хвостів» [Текст] : дис... Канд. Техн. Наук: 05.23.02 / Єрмакова Інна Анатоліївна ; Полтавський національний технічний ун-т ім. Юрія Кондратюка. – Полтава, 2005. 151 с.

6. ДСТУ Б В.2.1-17: 2009. Основи та підвалини будинків і споруд. ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей. Прийнятий: 22.09.2009 р. Дата введення: 01.10.2010 р. – 32 с.

7. ГСТУ 41-00 032 626-00-007-97 Галузевий стандарт України. Охорона довкілля. Спорудження розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на суші. Дата введення. 01.03.1998 р. – 80 с.

REFERENCES:

1. Nikolaidis A. (2015) Highway Engineering. Pavements, Materials and Control of Quality [Electronic resource]. – Electronic data. – [Taylor & Francis Group, 2015]. 868 p. URL: <http://ru.bookzz.org/book/2572438/c4c4f0> P B.2.3–218–02070915–757:2009 (date of application: 14.02.2024).
2. Vynnykov Yu. (2016) Qualitative relationships of water migration in highway embankment clay soils by the results of laboratory and field research / Y.L. Vynnykov, T.V. Lytvynenko. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Vol. 2(47). P. 226–232.
3. Pavlyuk D.O., Shuryakov M.V., Gladun S.A. (2016) Comparison of methods and means of soil compaction control during subgrade construction. *Zbirnyk naukovykh prats. Seriya: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo*. Vol. 2(47). P. 241–254 [in Ukrainian].
4. Zotsenko M.L., Vynnikov Y.L., Zotsenko V.M. (2016) *Drilled soil-cement piles, which are made by the drilling mixing method: Monograph* Madrid Printing House 94 p. [in Ukrainian].
5. Yermakova Inna Anatolyivna. Peculiarities of dynamic compaction of soil mixtures using mining waste – "tails" [Text]: dissertation... Cand. Technical Sciences: 05.23.02 / Yermakova Inna Anatolyivna ; Poltava National Technical University named after Yuriy Kondratyuk. Poltava, 2005. 151 p. [in Ukrainian].
6. DSTU B V.2.1-17: 2009. Foundations and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of physical properties. Adopted: 09/22/2009. Date of introduction: 10/01/2010 – 32 p. [in Ukrainian].
7. GSTU 41-00 032 626-00-007-97 Industry standard of Ukraine. Environment protection. Construction of exploratory and production wells for oil and gas on land. Date of introduction. 01.03.1998 – 80 p. [in Ukrainian].

*Стаття надійшла до редакції
18 березня 2024 року*