

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології  
та методи розрахунків у будівництві

Збірник наукових праць

Випуск 13

Луцьк – 2020

У збірнику висвітлюються результати наукових досліджень будівельних матеріалів і конструкцій; технологій зведення та експлуатації будівель, інженерних і транспортних систем; теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам та методів розрахунку; сучасних тенденцій проектних рішень у будівництві; енергоефективних технологій у міському будівництві та господарстві.

Призначений для науковців, фахівців проектних установ і виробничих підприємств, докторантів, аспірантів, студентів закладів вищої освіти.

**Редакційна колегія:**

Головний редактор – **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ)  
Заступник редактора – **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ)  
Відповідальний секретар – **Ротко С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ)

**Азізов Т.Н.**, д.т.н., професор (УДПУ, Умань); **Андрійчук О.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (НАУ, Київ); **Дробининець С.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (ХНАДУ, Харків); **Задорожнікова І.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ільчук Н.І.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Кислюк Д.Я.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Клименко Є.В.**, д.т.н., професор (ОДАБА, Одеса); **Кочкар'юв Д.В.**, д.т.н., доцент (НУВГП, Рівне); **Мікулич О.А.**, д.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Москалькова Ю.Г.**, к.т.н., доцент (БРУ, Білорусь), **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пасічник Р.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (НТУ, Київ); **Самчук В.П.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Семенюк С.Д.**, д.т.н., професор (БРУ, Білорусь), **Синій С.В.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Сунак П.О.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП, Рівне); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Ужегов С.О.**, к.т.н., (Луцький НТУ); **Чапюк О.С.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Шишкін О.О.**, д.т.н., професор (КНУ, Кривий Ріг).

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 20340-10140Р від 31.05.2013).

Включений Міністерством освіти і науки до переліку наукових фахових видань України (категорія Б) за спеціальностями 113 – Прикладна математика; 122 – Комп'ютерні науки (наказ МОН України, № 409 від 17.03.2020 р.); 192 – Будівництво та цивільна інженерія (наказ МОН України, № 886 від 02.07.2020 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 10 від 25 червня 2020 р.).

**Адреса редакції:** 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра будівництва та цивільна інженерії, e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com,  
<http://eforum.lntu.edu.ua/index.php/construction>, телефон (0332) 26-24-60

## ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ЦІЛЬНОСТІ ҐРУНТУ

### DETERMINATION OF MAXIMUM SOIL DENSITY

Панасюк Я.І., к.т.н., доц., Боярчук Б.А., к.т.н., доц., Талах Л.О., к.т.н., доц., Процюк В.О., к.т.н., ст. викладач (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)

**Panasiuk Y.I., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Boyarchuk B.A., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Talakh L.O., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Protsiuk V.O., Ph.D. in Engineering, Senior Lecturer (Lutsk National Technical University, Lutsk).**

*Експериментально визначено максимальну щільність ґрунту при оптимальній волозості стандартним методом та методом Проктора. Проведено порівняння цих методів при зведенні будівель та споруд.*

*Currently in Ukraine there is a normative document DSTU B B.2.1-12: 2009 Soils Method of laboratory determination of maximum density. According to this standard, the maximum soil density can be determined by 3 methods. The maximum soil density at optimum humidity was experimentally determined by the standard method and the Proctor method. A comparison of these methods for the construction of buildings and structures. These methods are also used in the construction of roads.*

*When determining the maximum density at optimum humidity by the standard method, the maximum density was 1.95 g/cm<sup>3</sup>, and the optimum humidity was 12.13%. When determining the density of the Proctor, the maximum density was 1.89 g/cm<sup>3</sup>, and the optimum humidity is 8%. When determining the modified density according to Proctor, the maximum density was 1.98 g / cm, and the optimum humidity was 7.6%.*

*In the study of the modified Proctor density compared to the method determining the Proctor density, the number layers increased to 5 at and the number of strokes per layer to 59 at layer-by-layer compaction.*

*Due to the use method of determining the modified density by Proctor, it is possible to obtain higher density values by 1.5% at lower humidity of 7.6% compared to the standard method of determining the maximum density at optimal humidity. Compared to the Proctor density method, the density is 4.8% higher and the humidity is 5% lower. This will lead to better soil compaction in the construction of buildings and structures, roads and airfields.*

*Comparison of different methods has shown the best advances in modern methods of modified force for Proctor. This can be a much larger number of strokes with a larger number layers when using and the existence of soil chips that were favorable.*

*The Proctor method proved to be more accurate in determining the maximum density. When using the modified Proctor method, the density is the highest. Thanks to*

*the use of a modified Proctor method it is possible to achieve better soil compaction in construction.*

*Ключові слова: щільність, ґрунт, метод Проктора, метод стандартного ущільнення.*

*Keywords: density, soil, Proctor method, standard compaction method.*

На даний час в Україні діє нормативний документ ДСТУ Б В.2.1-12:2009 [3]. Згідно даного стандарту максимальну щільність ґрунту можливо визначити 3 методами. Перший метод стандартного ущільнення за допомогою приладу СЮЗДОРНИИ. Для другого та третього методу визначення максимальної щільності застосовують прилад Проктора УГ-Ф.

У разі визначення щільності стандартним методом зразок знаходиться в умовах однорідного напруженого стану без можливості зсувної деформації з боковим випором ґрунту [1-2].

При визначенні оптимальної вологості при максимальній щільності стандартним методом на приладі СЮЗДОРНИИ ґрунт трамбуєть пошарово за допомогою вантажу, який падає з висоти 300 мм. Кількість ударів при ущільненні загалом повинна складати 120. Об'єм розніжного циліндра склав 1000 см<sup>3</sup> рис. 1. В якості ґрунту використовували супісок піщанистий [6], характеристики якого наведені в таблиці 1. Перед використанням ґрунт висушували до постійної маси при температурі 105±2<sup>0</sup>С та подрібнювали до частинок розміром менше за 5 мм [4]. Вода використовувалась згідно з ДСТУ Б В.2.7-273:2011 [7].

Таблиця 1

Гранулометричний склад ґрунту, %

Розмір зерен, мм	5...2	0,15
	2...1	0,38
	1...0,5	13,97
	0,5...0,25	45,03
	0,25...0,1	28,61
	<0,1	12,00
Оптимальна вологість при максимальній щільності, %		7
Максимальна щільність при оптимальній вологості		2,169

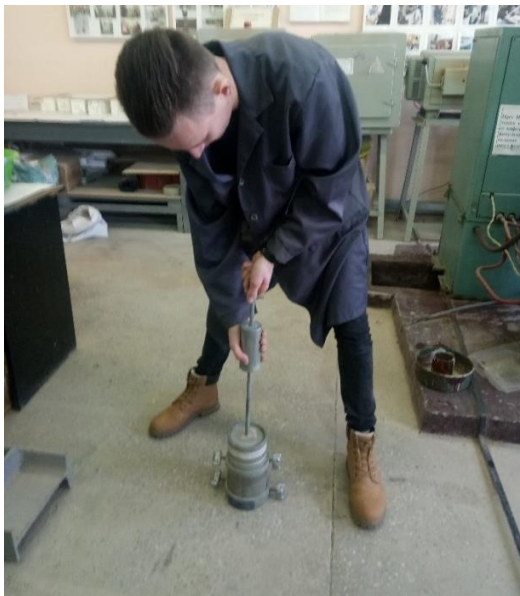


Рис. 1. Визначення максимальної щільності при оптимальній вологості стандартним методом

Після випробування максимальна щільність становила  $1,95 \text{ г/см}^3$  при оптимальній вологості  $12,13 \%$  (рис. 2).

Графік визначення максимальної щільності

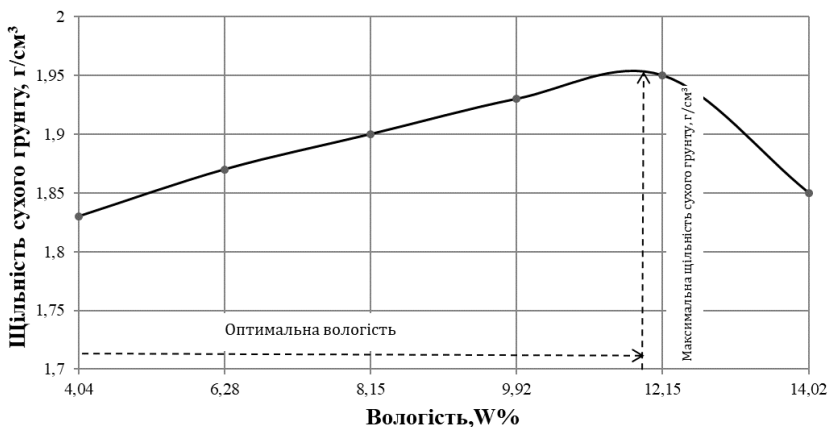


Рис. 2. Визначення максимальної щільності при оптимальній вологості стандартним методом

При визначенні щільності методом Проктора використовували той самий ґрунт, що й при стандартному методі. Ґрунт висушували та просіювали, як і при попередньому методі. Розміри випробувального циліндра становили: діаметр 150 мм, глибина 125 мм. Розмір та падаючий вантаж становлять: діаметр 75 мм, вантаж вагою 4,5 кг падає з висоти 450 мм. При даному методі здійснюється пошарове ущільнення ґрунту в 3 шари, кількість ударів на шар становить 22 (рис. 3). При ущільненні вручну користувались вимогами нормативного документу [9], при ущільненні шарів використовували ударний пристрій з прямою штангою та падаючим вантажем ударами безперервно з періодичністю від 1,5 до 2,0 с. Удари наносять за 3-4 цикли, торкаючись краю циліндра, охоплюючи всю поверхню зразка. Завдяки цьому під час ущільнення ґрунт має можливість утворювати зсувні напруження.

Найбільша щільність становила  $1,89 \text{ г/см}^3$  при вологості 8%. Це на 7,18% менше, ніж при стандартному методі ущільнення. Проте вологість при максимальній щільності зменшилась на 34,05% порівняно із стандартним методом (рис 4). Тобто, даний метод призводить до недоущільнення ґрунту порівняно із стандартним методом ущільнення.



Рис. 3. Визначення щільності методом Проктора

**Графік визначення максимальної щільності**

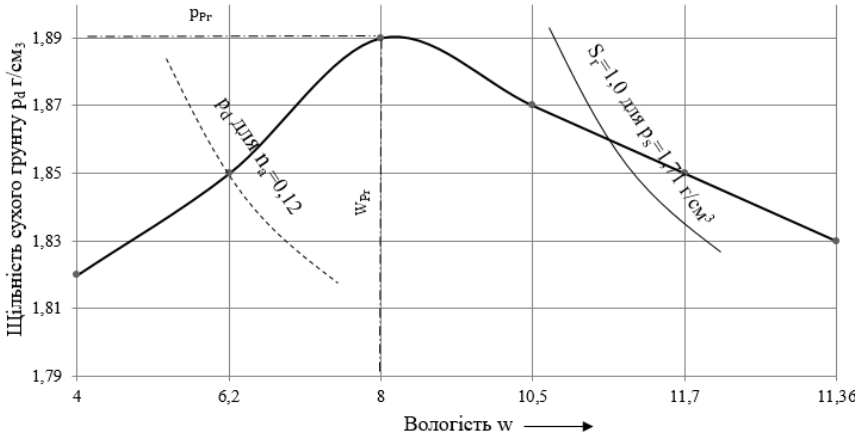


Рис. 4. Визначення щільності за Проктором  $\rho_{pr}$

У випадку, коли визначали модифіковану щільність за Проктором  $\text{mod } \rho_{pr}$ , її максимальне значення становило  $1,98 \text{ г/см}^3$  при вологості  $7,6\%$  (рис. 5).

**Графік визначення максимальної щільності**

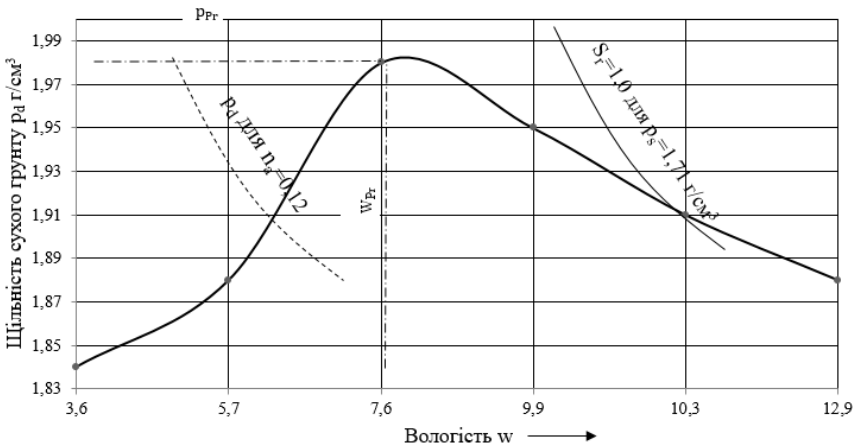


Рис. 5. Визначення модифікованої щільності за Проктором  $\text{mod } \rho_{pr}$

При даному дослідженні порівнянно з попереднім методом визначення щільності за Проктором  $p_{pr}$ , збільшилась кількість шарів до п'яти та кількість ударів на шар до 59-ти при пошаровому ущільненні. Завдяки використанню методу визначення модифікованої щільності за Проктором можливо отримати більші значення щільності на 1,5% при меншій вологості – 7,6% порівняно із стандартним методом визначення максимальної щільності при оптимальній вологості. В порівнянні з методом визначення щільності за Проктором щільність є вищою на 4,8%, а вологість менша на 5% Це призведе до кращого ущільнення ґрунтів при будівництві будівель та споруд, автомобільних доріг та аеродромів. Порівняння трьох методів показало найкращі показники щільності при використанні методу визначення модифікованої щільності за Проктором. Це можливо завдяки підвищенню кількості ударів при збільшенні кількості шарів при ущільненні та завдяки можливості зразка ґрунту утворювати зсувні напруження.

## **References**

1. Pavliuk D.O., Shuriakov M.V., Hladun S.A. Porivniannia metodiv i zasobiv kontroliu ushchilnennia hruntiv pry budivnytstvi zemlianooho polotna. Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo. Poltava: Natsionalnyi universytet «Poltavska politekhnika imeni Yuriia Kondratiuka», 2016. Vyp. 2(47). S. 241-254.
2. Aleksandrova N.P., Semenova T.V., Dolhykh H.V. Metody opredelenia maksimalnoi plotnosti hruntov zemlianooho polotna avtomobylnykh doroh. Uchebno-metodychyskoe posobyе. Omsk: «Sybyskaia hosudarstvennaia avtomobylnno-dorozhnaia akademyia (SybADY)», 2015. s. 58.
3. DSTU B V.2.1-12:2009 Hrunty Metod laboratornoho vyznachennia maksimalnoi shchilnosti, Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. s. 9.
4. DSTU B V.2.1-17:2009 Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvopei, Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. s. 32.
5. Prybor UH-F dlia uplotnenia hrunta metodamy Proktora. Pasport PR.1.00.00 PS rukovodstvo po ekspluatatsyy. Sankt-Peterburh, 2011. s. 8.
6. DSTU B V.2.1-2-96 y komitet Ukrainy u spravakh mistobuduvannia i arkhitektury, 1997. 47 s.
7. DSTU B V.2.7-273:2011 (HOST 23732-79). Budivelni materialy. Voda dlia betoniv i rozchyniv. Kyiv: NaukOsnyvy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Hrunty. Klasyfikatsiia. Kyiv: Derzhavnyovo -doslidnyi instytut budivelnykh materialiv i produktsii, 2011. 28 c.



8. DSTU B V.2.1-19:2009 Metody laboratornoho vyznachennia hranulometrychnoho (zernovoho) ta mikroahrehatnoho skladu, Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2010. s. 44.

9. DSTU B V.2.1-12:2009 Hrunty Metod laboratornoho vyznachennia maksimalnoi shchilnosti. Zmina #1, Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2011. s. 27.

### **Список використаної літератури**

1. Павлюк Д.О., Шур'яков М.В., Гладун С.А. Порівняння методів і засобів контролю ущільнення 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.

2.Александрова Н.П., Семенова Т.В., Долгих Г.В. Методы определения максимальной плотности грунтов земляного полотна автомобильных дорог. Учебно-методическое пособие. Омск: «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)», 2015. с. 58.

3. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Ґрунти Метод лабораторного визначення максимальної щільності, Київ: Мінреґіонбуд України, 2010. с. 9.

4. ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Методи лабораторного визначення фізичних властивостей, Київ: Мінреґіонбуд України, 2010. с. 32.

5. Прибор УГ-Ф для уплотнения грунта методами Проктора. Паспорт ПР.1.00.00 ПС руководство по эксплуатации. Санкт-Петербург, 2011. с. 8.

6. ДСТУ Б В.2.1-2-96 й комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. 47 с.

7. ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79). Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Київ: НаукОснови та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація. Київ: Державниово -дослідний інститут будівельних матеріалів і продукції, 2011. 28 с.

8. ДСТУ Б В.2.1-19:2009 Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу, Київ: Мінреґіонбуд України, 2010. с. 44.

9. ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Ґрунти Метод лабораторного визначення максимальної щільності. Зміна №1, Київ: Мінреґіонбуд України, 2011. с. 27.

## З М І С Т

Азізов Т.Н., Орлова О.М.	Інженерний спосіб визначення жорсткості при крученні залізобетонних елементів двотаврового перерізу з нормальними тріщинами.....	3
Андрійчук О.В., Кислюк Д.Я., Нінічук М.В.	Визначення несучої здатності нормальних перерізів комбіновано-армованих сталевібробетонних згинальних елементів.....	15
Вуків N.Z., Yasniy P.V., Iasnii V.P.	Modeling of mechanical behavior of reinforced concrete beam reinforced by the shape memory alloy insertion using finite elements method.....	24
Gomon S.S.	Fluence of age factor on main strength and deformative properties of timber.....	35
Коломійчук Г.П., Майстренко О.Ф., Коломійчук В.Г., Коломійчук В.Г.	Конструктивні рішення сучасних великопролітних трубобетонних аркових мостів.....	42
Кузьмич Р.В., Самчук В.П., Кислюк Д.Я., Савенко В.І.	Проектування енергоефективних будівельних конструкцій на основі числового моделювання температурних мостів.....	49
Олексюк А.С., Ужегов С.О., Ужегова О.А., Ротко С.В.	Вплив добавки Поліпласт СП-3 на міцність важкого бетону.....	56
Панасюк Я.І., Боярчук Б.А., Талах Л.О., Процюк В.О.	Визначення максимальної щільності ґрунту .....	64
Пахолук О.А., Чапюк О.С.	Забезпеченість українського ринку будівельної техніки вантажопідйомним обладнанням та його сервісним обслуговуванням.....	71

Плахотний Г.Н., Чернева О.С.	Застосування попереднього напруження для підвищення жорсткості та стійкості споруди.....	86
Ротко С.В., Швабюк В.В., Зубовецька Н.Т., Ужегова О.А., Гераськін О.О.	До проблеми уточнення рівнянь динаміки ортотропних оболонок із урахуванням деформацій поперечного зсуву та обтиснення.....	92
Талах Л.О., Шимчук О.П., Процюк В.О., Семерей А.С., Панасюк Я.І.	Металеві конструкції в сучасному будівництві.....	104
Тулашвілі Ю.Й., Кошелюк В.А.	Комп'ютерний аналіз поведінки структурно-неоднорідних матеріалів.....	112
Чапюк О.С., Гришкова А.В., Кислюк Д.Я., Пахолук О.А., Філіпчук С.В.	Збільшення зчеплення бетону зі склокомпозитною арматурою за рахунок покриття спеціальними речовинами, як варіант оптимізації виробничої бази будівництва.....	121
Черних О.А., Соколенко В.М.	Досвід застосування сучасних інформаційних технологій у навчальному процесі в СНУ ім. В. Даля .....	128
Olena Chernieva, Andrzej Wojnar, Sara Pogan	The 3DP – three-dimensional printing – is it a real prospect of automating the building processes?.....	140