

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Сучасні технології  
та методи розрахунків у будівництві  
Збірник наукових праць

Випуск 7

Луцьк – 2017

У збірнику висвітлюються результати експериментально-теоретичних досліджень будівельних матеріалів і конструкцій, технологій їхнього виготовлення та експлуатації, теорії опору елементів будівельних конструкцій зовнішнім впливам, методів їхнього розрахунку.

Призначений для наукових працівників, спеціалістів проектних установ і виробничих підприємств будівельної галузі, докторантів, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

**Редакційна колегія:**

Головний редактор - **Шваб'юк В.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ);

Заступник редактора - **Максимович В.М.**, д.ф.-м.н., професор (Луцький НТУ);

Відповідальний секретар - **Андрійчук О.В.**, к.т.н. (Луцький НТУ);

**Бабич Є.М.**, д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування); **Белятинський А.О.**, д.т.н., професор (Національний авіаційний університет); **Богаткевич Януш**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Бондарський О.Г.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ); **Делявський М.В.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Жданюк В.К.**, д.т.н., професор (Харківський національний автомобільно-дорожній університет); **Іванченко Г.М.**, д.т.н., професор (Київський національний університет будівництва і архітектури); **Карась Славомір**, доктор інженерії (Люблінська політехніка, Польща); **Максимович О.В.**, д.т.н., професор (НУ "ЛП"); **Наумов В.С.**, д.т.н., професор (Краківська політехніка, Польща); **Пастернак Я.М.**, д.ф.-м.н., доцент (Луцький НТУ); **Пустюльга С.І.**, д.т.н., професор (Луцький НТУ); **Савенко В.Я.**, д.т.н., професор (Національний транспортний університет); **Солодкий С.Й.**, д.т.н., професор (Національний університет "Львівська політехніка"); **Трач В.М.**, д.т.н., професор (НУВГП); **Ужегова О.А.**, к.т.н., доцент (Луцький НТУ).

Технічний секретар - **Ужегов С.О.**

Зареєстрований Державною реєстраційною службою України (свідоцтво серія КВ, № 20340-10140Р від 31.05.2013 р.).

Включений Міністерством освіти і науки України до переліку наукових фахових видань України (Наказ МОН України, № 747 від 13.07.2015 р.).

Матеріали збірника рекомендовані до друку на засіданні Вченої ради Луцького НТУ (протокол № 4 від 28 листопада 2017 р.).

Випуск підготовлений за матеріалами всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів „Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку” (17 листопада 2017 року, м. Луцьк)

Адреса редакції: 43018, м. Луцьк, вул. Потебні, 56, Луцький НТУ, кафедра "Будівництво та цивільна інженерія", e-mail: Zbirnukfbd@gmail.com,

<http://bf.lntu.edu.ua/fakultet/zbirnuk.html>, телефон (0332) 26-24-60.

УДК 535.3

## **ОГЛЯД ОСНОВНИХ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ҐРУНТІВ**

### **REVIEW OF BASIC MATHEMATICAL MODELS FOR DEFINITION OF SOILS PERMITTIVITY**

**Процюк В.О., асистент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Protsiuk V.O., assistant (Lutsk national technical university, Lutsk)**

В статті розглянуті та порівняні існуючі математичні моделі визначення діелектричної проникності ґрунтів. Показано вплив частоти сигналу на величину діелектричної проникності мінералів і води. Порівняні електрофізичні властивості зв'язної і вільної води.

The article considered and compared to existing mathematical models for determining the permittivity of soils. The influence of the signal frequency on the magnitude of minerals dielectric permittivity and water is shown. A comparative analysis of most dependencies between dielectric material permeability and content of its components has been carried out. According to the results of the researches, it was concluded that the results of calculations according to the Birchak model and the Shmuhge model are satisfactory with the data of experimental researches of soil dielectric properties.

Ключові слова: ґрунт, діелектрична проникність, частота, математична модель.

Keywords: soil, permittivity, frequency, mathematical model.

Встановлення розрахункових характеристик ґрунтів земляного полотна автомобільних доріг є важливим питанням під час діагностики доріг та проектування ремонтів по посиленню конструкції дорожнього одягу та забезпеченню всіх необхідних транспортно-експлуатаційних характеристик дороги.

Серед добре відомих і надійних методів по встановленню розрахункових характеристик ґрунтів, існують і нові прогресивні

методи, які володіють рядом переваг – безконтактність, а отже забезпечення цілісності дорожньої конструкції, швидкість та оперативність діагностики та економічність проведення діагностики. Цього дозволяється досягти завдяки використанню підповерхневої георадіолокації.

Проте, як і всі методи, георадіолокація має також свої недоліки, які пов'язані із: складністю інтерпретації даних отриманих в процесі зондування конструкції дорожнього одягу та ґрунтів земляного полотна; недостатньою кількістю математичних залежностей електрофізичних характеристик з фізичними та міцнісними характеристиками ґрунтів; відсутністю достатньої бази даних електрофізичних характеристик ґрунтів.

Аналіз останніх досліджень. Значні дослідження електрофізичних характеристики матеріалів ґрунтів були зроблені: Боярський Д.А., Віняйкіним Є.Н., Золотарем В.М., Криворучко Я.С., Судаковою М.С. та іншими.

Дослідження зв'язної та вільної води, яка наявна в ґрунтах земляного полотна, наведені в роботах: Боярського Д.А., Корольова В.А., Шутко А.М., Черняка Г.Я. та інших.

Постановка мети і завдань досліджень. Діелектричні властивості ґрунтів визначаються діелектричними властивостями компонент, що входять до його складу: мінеральної частини скелета ґрунту, води і повітря. Дійсні частини діелектричної проникності трьох фаз ґрунту суттєво різняться, маючи значення: для повітря – 1; для мінеральної частини скелета ґрунту – 3 – 4; для води – 81. Ці відмінності зумовлюють можливість вимірювання вологості ґрунтів.

Для обґрунтування моделі діелектричних властивостей ґрунтів, розглянемо діелектричні властивості компонент ґрунту, як трифазної системи.

Результати досліджень. Згідно з аналізом, проведеним в роботі Д.А. Боярським [1], дійсна частина діелектричної проникності таких мінералів як кварц, польові шпати, монтморилоніт, каолініт і т. д. в діапазоні частот 1 – 50 ГГц має величину  $\sim 3,6$  [2-4], а уявна частина в цьому ж діапазоні  $\sim 0,05 - 0,25$  [4, 5]. При більш високих частотах ( $\sim 500$  ГГц) дійсна частина діелектричної проникності цих мінералів становить  $\sim 2,5 - 5$ , а уявна частина зменшується до значень  $\sim 0,001$  [6].

Через складність проведення експериментальних досліджень

діелектричних властивостей зв'язаної води, ці властивості вивчені недосконало [7, 8], і мають суперечливий характер для позитивних температур. Більшість дослідників дійшли до висновку, що ці властивості визначаються властивостями поверхні, з якою взаємодіє вода, і ступенем зв'язку води з цією поверхнею [6, 9]. Проф. Корольов В.А. відзначає, що діелектрична проникність води зв'язаної в кілька разів менша у порівнянні з вільною водою [10]. Якщо для звичайної води діелектрична проникність дорівнює 81, то для зв'язаної води ця величина зменшується до 3 – 40, в залежності від товщини водяної плівки. Згідно даними останніх досліджень, плівка зв'язаної води товщиною 0,5 – 0,6 нм має діелектричну проникність, що дорівнює 3 – 4. Дійсна і уявна частини діелектричної проникності вільної води в діапазоні частот від 1 ГГц до 40 ГГц мають виражену частотну і температурну залежність. Дійсна частина на частоті 1 ГГц змінюється від ~ 87 при 0 °С до ~ 80 при 20 °С і на частоті 40 ГГц від ~ 9 при 0 °С до ~ 16 при 20 °С [1]. Уявна частина змінюється при 0 °С від ~ 9 (1 ГГц) до ~ 17 (40 ГГц). Найбільш сильно ці ефекти проявляються для вологих ґрунтів, тому досить важливо враховувати частоту сигналів

На поширення сигналу в середовищі сильно впливає наявність дисперсії (залежно від частоти), тому цей факт необхідно враховувати під час розробки алгоритму визначення вологості ґрунтів земляного полотна. Проте, дорожній одяг над ґрунтом земляного полотна містить матеріали, які є композицією різних складових, що унеможливує вирішити дане завдання аналітично, не маючи інформації про властивості кожної з компонент. Тому пропонується ввести в модель коефіцієнт поправки, що враховує дисперсійні властивості матеріалів. В такому випадку діелектрична проникність буде визначатися як [11]:

$$\varepsilon = k_d \cdot \varepsilon_{\omega}, \quad (1)$$

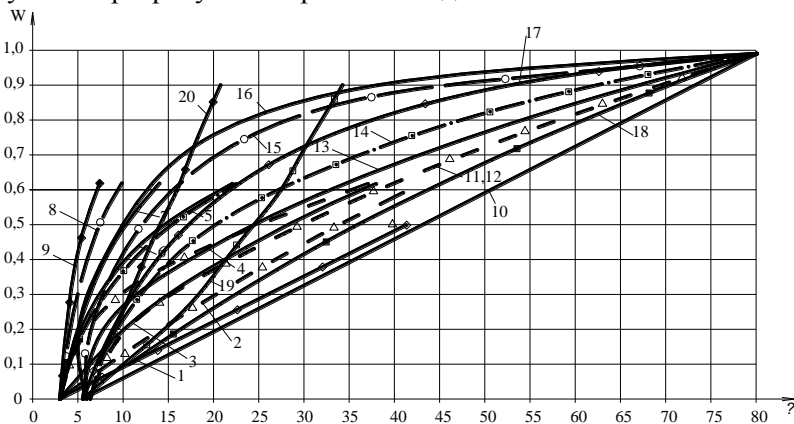
де  $\varepsilon$  – значення діелектричної проникності, прийняте в розрахунках;

$\varepsilon_{\omega}$  – значення діелектричної проникності, яке визначене експериментально на частоті  $\omega$ .

Залежності діелектричної проникності багатоконпонентних сумішей від діелектричної проникності компонент, а також від

вмісту і розподілу компонент в суміші досить докладно вивчені теоретично і представлені графічно (рис. 1).

Авторами робіт [12, 13], а також автором статті були виконані розрахунки за вказаними моделями. В дослідженнях [13] приймалося, що дійсна частина діелектричної проникності в діапазоні надвисоких частот сухого ґрунту  $\epsilon_1=3$ , а води –  $\epsilon=80$ , уявну частину діелектричної проникності не враховували. Результати розрахунків наведено на рисунку 1. Експериментальні дані [14] позначені прямокутниками для піщаного ґрунту та трикутниками для суглинистого ґрунту (рис. 1). Цифрами позначені результати розрахунків за різними моделями.



1 – формула Вінера (нижня межа), 2 – формула Оделевського, 3 – формула Бірчака, 4 – формула К. Боттчера, 5 – формула К. Ліхтенкера, 6 – формула Бругемана,

7 – формула Максвелл-Гарнетта, 8 – формула Л.В. Лоренца-Лорентца, 9 – формула Вінера (верхня межа) [226], 10, 16 – формула В.В. Ржевського і Г.Я. Новікова (шари розташовані відповідно паралельно і перпендикулярно до силовим ліній поля), 11, 12 – формула В.І. Оделевського і К. Боттчера, 13 – формула В.М. Дахновського; 14 – формула К. Ліхтенкера, 15 – формула Л.В. Лоренца-Лорентца, [169], 16 – формула Л.В. Лоренца-Лорентца, 17 – формула Оделевського, 18 – формула Нельсона, 19 – формула Ландау

Рис. 1 – Зв'язок дійсної частини діелектричної проникності суміші з об'ємною часткою води

Як відзначають автори робіт [12, 13] жодна з формул не дає точного збігу з експериментальними даними. Найбільш узгоджується з експериментом для даних типів дисперсних середовищ моделі Дж. Бірчака та В.І. Оделевського. Формула

Дж. Бірчака добре описує ґрунти з об'ємною вологістю менше за  $0,3 \text{ см}^3/\text{см}^3$ , а формула В.І. Оделевського – понад  $0,3 \text{ см}^3/\text{см}^3$ . До аналогічних висновків приходять А.М. Шутко [8].

Провівши порівняльний аналіз більшості залежностей між діелектричною проникністю матеріалу та вмістом його компонент, автор [8] приходять до висновку, що всі формули (крім формул Ліхтенекра, Бруггеманахана і Брауна) зводяться до формул В.І. Оделевського для матричних сумішей, яка містить дві компоненти – діелектричну проникність сухого ґрунту і води.

Проте наведені математичні моделі оцінюють лише значення статичної діелектричної проникності середовище, що не є досить коректним, так як під час георадіолокації ми отримуємо значення комплексної діелектричної проникності.

Теоретичні залежності, в яких розглядаються додаткові чинники, наприклад, глинистість і наявність зв'язаної води, досить обмежені. Як зазначається в роботі [15] універсальна теорія СВЧ діелектричної проникності існує тільки для вологонасичених газів. З огляду на складність та багатокритеріальність, суворе рішення задачі розрахунку комплексної діелектричної проникності ґрунтів в надвисокочастотному діапазоні (СВЧ) не відомо. У зв'язку зі складністю теоретичних розрахунків зазвичай використовують дані лабораторних вимірювань, в яких визначають дійсну і уявну частини діелектричної проникності.

Висновок. За результатами узагальнення наукових досліджень [12, 13] та дослідженнями автора статті було зроблено висновок, що з даними експериментальних досліджень діелектричних властивостей ґрунту задовільно збігаються результати розрахунків за моделлю Бірчака [16] і моделлю Шмугге [17]. Зазначені моделі є основою для удосконалення математичної моделі щодо встановлення діелектричної проникності ґрунтів з урахуванням різних розрахункових станів ґрунту.

1. Боярский Д.А. Влияние связанной воды на диэлектрическую проницаемость влажных и мерзлых почв / Д.А. Боярский, В.В. Тихонов. – М.: ИКИ РАН, 2003. – 48 с. – (Препринт / ИКИ РАН; 2003).
2. Словарь по геологии нефти и газа. – Л.: Недра, 1988. – 680 с.
3. Справочник физических констант горных пород / Под ред. С. Кларка. – М.: Мир, 1969. – 544 с.

4. Campbell M.J. Electrical properties of rocks and their significance for lunar radar observations / M.J. Campbell, J. Ulrichs // *J. Geophys. Research.* – 1969. – Vol. 74. N. 25. – PP. 5867–5881.

5. Виняйкин Е.Н. Ослабление миллиметровых и сантиметровых радиоволн и изменение их фазы в среде, состоящей из сухих и обводненных пылевых частиц / Виняйкин Е.Н., Зиничева М.Б., Наумов А.П. – Нижний Новгород: НИР ФИ, 1993. – 40 с. – (Препринт / Научно-исследовательского радиофизического института (НИР ФИ); 1993).

6. Золотарев В.М. Оптические постоянные природных и технических сред / Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. – Л.: Химия, 1984. – 243 с.

7. Черняк Г.Я. Радиоволновые методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии / Г.Я. Черняк, О.М. Мясковский. – М.: Недра, 1973. – 176 с.

8. Шутко А.М. СВЧ-радиометрия водной поверхности и почвогрунтов / А.М. Шутко. – М.: Наука, 1986. – 192 с.

9. Белая М.Л. Молекулярная структура воды / М.Л. Белая, В.Г. Левадный // *Новое в жизни, науке, технике. Сер. Физика.* – 1987. – № 11. – С. 3–61.

10. Королев В.А. Связанная вода в горных породах: новые факты и проблемы / В.А. Королев // *Соросовский образовательный журнал.* – 1996. – № 9. – С. 79–85.

11. Георадары, дороги – 2002: Материалы международной научно-практической конференции. – Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2002. – 94 с.

12. Судакова М.С. Разработка и применение методики диэлектрических измерений с использованием полевого георадара в лабораторных условиях: дис. ... канд. физико-математических наук: 25.00.10 / Судакова Мария Сергеевна. – М., 2009. – 125 с.

13. Криворучко Я.С. Визначення ефективної діелектричної проникності гетерогенних середовищ та оцінка вмісту вологи в ґрунтах / Я.С. Криворучко // *Поверхность.* – 2011. – Вып. 3(18). – С. 22–28.

14. Wang J.R. An empirical model for the complex dielectric permittivity of soils as a function of water content / J.R. Wang, T.J. Schmugge // *IEEE Trans on Geosci and Remote Sensing.* – 1980. – Vol. 18, N 4. – PP. 288–295.

15. Хаммуд Ф.М. СВЧ диэлектрическая проницаемость дисперсных влагосдорежающих сред / Ф.М. Хаммуд, В.П. Герасимов, Ю.Е. Гордиенко // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2005. –Т. 10. – № 3. – С. 334–340.

16. Birchak J.R. High dielectric constant microwave probes for sensing soil moisture / J.R. Birchak, G.G. Gardner, J.E. Hipp, J.M. Victor // *Proc. IEEE.* – 1974. – Vol. 62. – PP.93–98.

17. Wang J.R. An Empirical Model for the Complex Dielectric Permittivity of Soils as a Function of Water Content / J.R. Wang T.J. Schmugge // *National Aeronautics and Space Administration Goddard Spans.* – 1978. – 39 p.



## З М І С Т

Абрамюк І.Г.	Тенденції містобудівного розвитку Луцька впродовж XVII – XX ст .....	3
Біскуб П.І., Бліндер А.С., Мучак К.М., Князєв М. Р.	Методика генерального планування територій ...	11
Бондарський О.Г., Руський С.І., Ужегов С.О., Ужегова О.А.	Визначення величини попереднього натягу арматури на упори (на форму).....	17
Висоцька Л.М. Журавський О.Д. Савенко В. І. Кислюк Д.Я.	Вплив перетворювача іржі «контраст» на зчеплення арматури з бетоном .....	25
Волошин В., Бліндер Ю., Мороз В.	Особливості нормативної грошової оцінки земель населених пунктів .....	32
Гаврилюк В.Р., Боярчук Б.А.,	Підвищення енергоефективності в будівлях навчальних закладів .....	38
Гурик М.Ю., Яйчєня В.П., Мельник Ю.А Парфєнтєєва І. О.	Особливості організації та благоустрою територій вищих навчальних закладів України ..	43
Дзюбинська О.В., Смаль М.В., Дзюбинський А.В.	Картографічне моделювання результатів оцінки рекреаційних територій за чинниками соціально-побутової інфраструктури.....	48
Дробишинєць С.Я.	Обстеження та покращення безпеки дорожнього руху на автомобільній дорозі т-03-06 /т-03-02/ - Шацьк - Вілиця - Прип'ять - Любохини - /т-03-08/ Шацького району Волинської області .....	56
Дудар І.Н., Яворовська О.В.	Оцінка ефективності функціонування системи поводження з твердими побутовими відходами ...	64

Захаревская Н.С., Снядовская Т.Ю.	Инновационные аспекты развития архитектуры «Кампусов» .....	73
Іваник І.Г., Іваник Ю.І.,	Просторовий розрахунок комбінованих попередньо напружених сталезалізобетонних шпренгельних конструкцій.....	81
Ільчук Н.І., Мартин О.Д.	Реконструкція центрального парку культури та відпочинку у м. Любешів Волинської області .....	89
Кожушко О.Д., Кізєєв М.Д.,	Утилізація теплової енергії стічних вод та питної води в системах водопостачання і каналізації населених пунктів .....	94
Купченко Ю.В.	Оптимізація сталевих стержневих рамних систем працюючих за межею пружності.....	101
Куцина І.А.,	Пішохідна рухливість як складова сформованої транспортної системи малих та середніх міст.....	106
Кушнір О.А.	Реконструкція кінотеатру «Чернівці»по вулиці Заньковецької в місті Чернівці.....	113
Линник І.Е., Дудник В.М.	Системи розміщення автомобільних стоянок у великих містах .....	118
Маліков В.В., Панасюк Я.І.	Про можливість використання ґрунтів укріплених цементом із додаванням добавок «Perma-zyme 11x», «Soilgrip es-10», «Roadcem» для будівництва шарів дорожніх одягів.....	126
Мартинов С.Ю., Мінаєва Н.Л., Куницький С.О., Андрійчук О.В.	Реконструкція існуючих об'єктів водопостачання в ресурсозберігаючі споруди водопідготовки.....	133
Моркляник Б.В., Лавренюк В.М. Брездень Б.Є.	Вплив циклічного замерзання–розмерзання на деформаційні властивості ґрунтів основи внаслідок роботи плоского колектора теплового насоса .....	140

Неделюк О. А., Ротко С. В., Задорожнікова І. В.	Вертикальні ферми як урбаністична аграрна альтернатива .....	146
Нінічук М. В., Кислюк Д.Я. Дмитрук Д.Г.	Напружено-деформований стан нерозрізних залізобетонних балок з різним типом армування сталевими фібрами .....	154
Олексин Х.А., Шевчук Т.В. Парфентьева І. О. Мельник Ю.А.	Вирішення проблем благоустрою та реконструкція центральної частини с. боремель рівненської області.....	161
Панчук М.Ю., Матіяшук А.В., Ротко С. В.	Дослідження фізико-механічних властивостей неавтоклавного пінобетону для застосування у якості конструкційного матеріалу .....	167
Парфентьева І.О. Ільчук Н.І. Шафранська О.З	Реконструкція центрального парку культури та відпочинку ім. лесі українки у м. Луцьку з влаштуванням функціональних зон .....	175
Парфентьева І.О., Кошель М.С.,	Особливості формування об'єднаних територіальних громад на прикладі села княгининок .....	181
Парфентьева І.О., Луговська Т.П.	Застосування габіонних конструкцій у містобудуванні .....	188
Пашинський В.А. Джирма С.О.	Вибір показників теплової надійності огорожувальних конструкцій .....	194
Петровчук М.О., Сунак П.О.	Розвиток селища Олика , як культурно-туристичного центру Волинської області в аспекті історичної спадщини .....	201
Процюк В.О.	Огляд основних математичних моделей визначення діелектричної проникності ґрунтів .	207
Самчук В.П., Оласюк П.Я.	Використання тентових конструкцій в архітектурно-будівельному проектуванні .....	213
Семерей В.В., Задорожнікова І. В.	Vim-технології в проектуванні .....	219

Синій С. В.	Напрямки розвитку технологій моніторингу в системах водопостачання міста Луцька .....	227
Смаль М.В., Дзюбинська О.В., Шелкович О.	Світовий досвід повторного використання бетону в будівельному виробництві .....	233
Смирнова Н.В. Пасічник Р. В.	Виготовлення «Сендвіч-панелей» у домашніх умовах.....	238
Сунак П. О., Синій С. В., Мельник Ю. А., Парасюк Б. О.	Дослідження методів визначення надійності позацентрово стиснутих сталевібробетонних елементів .....	245
Талах Л.О. Агхнайах А.М.	Європейський досвід організації та управління дорожніх систем .....	251
Чапюк О.С., Олех В.В., Гришкова А.В.	Зчеплення композитної склопластикової арматури з важким бетоном залежно від довжини анкерування та поперечного перерізу призми .....	261
Чернева Е.С., Мазур Д.А	Проблеми експлуатації житлових будинків на прикладі об'єкта № 3 ОГАСА .....	268
Шваб'юк В.І., Ротко В.О., Ротко С. В.	Уточнений розрахунок підсилених балок методом приведених перерізів .....	273
Шеметило Н.В., Верешко О.В.	Реконструкція історичного кварталу обмеженого вулицями данила галицького і ковельською у м. Луцьку .....	279
Шимчук О.П., Андрійчук О.В. ГХОМА Муса, Ящук Ю.Ф.	Технологія інфрачервоного ремонту асфальто-бетонних покриттів .....	286
Шолом В.В., Пахолук О.А., Ротко С. В.	Основні пріоритети будівництва плаваючих будівель .....	292

Шостак А.В., Мельник О.В., Мельник Ю.А. Боб А.Ю.	Методика дослідження стабільності спеціальних геодезичних мереж при спостереженнях за інженерними спорудами ..... 299
Ярута Я.В., Шевчук О.В., Ткачук О.А	Врахування напірного режиму у мережах водовідведення при підключенні до споруд регулювання дощового стоку ..... 306