

Министерство образования и науки Украины

**ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Северо-Восточный научный центр  
Транспортной академии Украины

**ВЕСТНИК**  
**ХАРЬКОВСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО**  
**АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

---

Сборник научных трудов

Выпуск 72

**BULLETIN**  
of  
**KHARKIV NATIONAL**  
**AUTOMOBILE AND HIGHWAY UNIVERSITY**

---

Collection of Scientific Works

Issue 72

Харьков 2016

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Богомолов Виктор Александрович  
Бажин Алексей Васильевич

Жданюк Валерий Кузьмович

Нагорный Евгений Васильевич

Кириченко Игорь Георгиевич  
Подригало Михаил Абович

Абрамчук Федор Иванович  
Алексеев Олег Павлович  
Батыгин Юрий Викторович  
Венцель Евгений Сергеевич  
Волков Владимир Петрович  
Гладкий Иван Павлович  
Грищенко Анатолий Владимирович  
Дьяченко Светлана Степановна  
Золотарев Виктор Александрович  
Клименко Валерий Иванович  
Кожушко Виталий Петрович  
Мошенков Василий Иванович  
Перегон Владимир Андреевич  
Туренко Анатолий Николаевич  
Угненко Евгения Борисовна  
Тропина Альбина Альбертовна  
Канילו Павел Макарович  
Кравченко Александр Петрович

Крайник Любомир Васильевич  
Матейчик Василий Петрович

Михайленко Владимир Степанович  
Тимофеева Лариса Андреевна

Янютин Евгений Григорьевич

профессор, докт. техн. наук, заместитель ректора по научной работе, ХНАДУ, главный редактор  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой автомобильной электроники, ХНАДУ, ответственный секретарь  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой строительства и эксплуатации автомобильных дорог, ХНАДУ, зам. главного редактора  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой транспортных технологий, ХНАДУ, зам. главного редактора  
профессор, докт. техн. наук, декан механического факультета, ХНАДУ, зам. главного редактора  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой технологии машиностроения та ремонта машин, ХНАДУ, зам. главного редактора  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой двигателей внутреннего сгорания, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой физики, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой строительных и дорожных машин, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой технической эксплуатации и сервиса автомобилей, ХНАДУ  
профессор, канд. техн. наук, первый заместитель ректора, ХНАДУ  
профессор, докт. геогр. наук, заведующий кафедрой экологии, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой технологии дорожно-строительных материалов, ХНАДУ  
профессор, канд. техн. наук, заведующий кафедрой автомобилей, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой мостов, конструкций и строительных сооружений ХНАДУ  
профессор, канд. техн. наук, заведующий кафедрой технологии металлов и материаловедения ХНАДУ  
профессор, канд. техн. наук, заведующий кафедрой деталей машин и теории механизмов и машин, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, ректор, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой изысканий и проектирования дорог и аэродромов, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой прикладной математики, ХНАДУ  
профессор, докт. техн. наук, Институт проблем машиностроения НАН Украины, г. Харьков  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой автоники и нанотехнологий, Восточноукраинский национальный университет имени В. Даля, Луганская обл.  
профессор, докт. техн. наук, генеральный конструктор ОАО «Укравтобсупром», г. Львов  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой экологии и безопасности жизнедеятельности, Национальный технический университет, г. Киев  
профессор, докт. техн. наук, ХНУ имени В. Н. Каразина  
профессор, докт. техн. наук, заведующий кафедрой материалов и технологии изготовления изделий транспортного назначения УкрДАЗТ  
профессор, докт. техн. наук, кафедра математики ХГУПТ, г. Харьков

## EDITORIAL BOARD

Bogomolov Viktor Aleksandrovich,  
Bazhynov Aleksey Vasilyevich,

Professor, D.Sc. (Eng.), Vice-Rector for Research, Editor in chief, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Automobile Electronics, Executive Secretary, KhNAHU

Deputy Chief Editor:

Zhdanyuk Valery Kuzmovich  
Nagorny Yevgeny Vasilyevich  
Kirichenko Igor Georgiyevich  
Podrygalo Mikhail Abovich

Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Construction and Maintenance of Highways, deputy chief editor, KhNAHU  
D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Transport Technology, deputy chief editor, KhNAHU  
D.Sc. (Eng.), Professor, Dean of the Faculty of Mechanics, deputy chief editor, KhNAHU  
D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Department of Manufacturing Engineering and Repair of Machinery, deputy chief editor, KhNAHU

Members of the editorial board:

Abramchuk Fedor Ivanovich  
Alekseyev Oleg Pavlovich  
Batygin Yury Viktorovich  
Ventsel Yevgeny Sergeyevich  
Volkov Vladimir Petrovich  
Gladky Ivan Pavlovich  
Gritsenko Anatoly Vladimirovich  
Dyachenko Svetlana Stepanovna  
Zolotarev Viktor Aleksandrovich  
Klimenko Valery Ivanovich  
Kozhushko Vitaly Petrovich  
Moshchenok Vasily Ivanovich  
Peregon Vladimir Andreyevich  
Turenko Anatoly Nikolaevich  
Ugненко Yevgeniya Borisovna  
Tropina Albina Albertovna  
Kanilo Pavel Makarovich  
Kravchenko Aleksandr Petrovich  
Kraynik Lyubomir Vasilyevich  
Mateychik Vasily Petrovich  
Mikhaylenko Vladimir Stepanovich  
Timofeyeva Larisa Andreyevna  
Yanyutin Yevgeny Grigoryevich

Professor, D.Sc. (Eng.), Head of Internal Combustion Engines Department, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Physics, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Construction and Road-Building Machinery, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Vehicle Technical Maintenance, KhNAHU  
Professor, Ph. D. (Eng.), deputy Rector, KhNAHU  
Professor, D. Sc. (Geog.), Head of the Ecology Department, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Technology of Road-Building Materials, KhNAHU  
Professor, Ph. D. (Eng.), Head of the Automobile Department, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Bridges, Structures and Building Construction, KhNAHU  
Professor, Ph. D. (Eng.), Head of the Department of Metals and Materials Technology, KhNAHU  
Professor, Ph. D. (Eng.), Head of the Department of Machine Parts and the Theory of Mechanisms and Machines, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Rector of Kharkiv National Automobile and Highway University (KhNAHU)  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Research and Design of Highway and aerodromes, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Applied Mathematics, KhNAHU  
Professor, D.Sc. (Eng.), Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Ukraine, Kharkiv  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Autronics and Nanotechnology, Eastern National University after Dahl, Luhansk region  
Professor, D.Sc. (Eng.), General Designer of JSC Ukravtobusprom, Lviv  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Ecology and Safety of Vital Functions, NTU, Kyiv  
Professor, D.Sc. (Eng.), Kharkiv National University after V.N. Karazin, Kharkiv  
Professor, D.Sc. (Eng.), Head of the Department of Materials and Technology of Products Manufacturing for Transport Industry, UkrDAZT  
Professor, D.Sc. (Eng.), Department of Mathematics, KhNUPT, Kharkiv

## «Вестник ХНАДУ»

- Входит в утвержденный ГАК Перечень научных профессиональных изданий Украины, в которых могут публиковаться результаты диссертационных работ на соискание научных степеней доктора и кандидата наук.
- Реферируется украинским реферативным журналом «Джерело» и входит в общегосударственную реферативную базу данных «Україніка наукова» (Украина).
- Включён в международные наукометрические базы данных:
  - Научная электронная библиотека eLIBRARY,
  - Российский индекс научного цитирования РИНЦ (Россия);
  - Index Copernicus (Польша);
  - Scholar Google.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАШИНОСТРОЕНИЕ

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Тарасов Ю.В., Молодан А.А.</i> Оценка эффективности рециклинга транспортных средств, вышедших из эксплуатации .....                                      | 7  |
| <i>Бороденко Ю.М.</i> Ідентифікація несправностей електропривода автомобіля з вентильним двигуном .....                                                     | 13 |
| <i>Каслін М.Д., Богатов О.І.</i> Оновлення нормативної бази з охорони праці в галузі автотранспорту .....                                                   | 19 |
| <i>Абрамов Д.В., Никорчук А.И.</i> Оценка влияния пробега на показатели тяговых свойств автомобиля .....                                                    | 23 |
| <i>Гнатов А.В., Аргун Щ.В., Бикова О.В., Підгора О.В.</i> Електробус на суперконденсаторах для міських перевезень .....                                     | 29 |
| <i>Левтеров А.М., Авраменко А.Н., Бганцев В.Н.</i> Индицирование автомобильного дизеля с использованием оригинального малогабаритного датчика давления..... | 35 |
| <i>Двадненко В.Я.</i> Математическая модель конверсионного гибридного автомобиля в режиме электропривода .....                                              | 41 |

### БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

|                                                                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Сістук В.О., Богачевський А.О., Анікіна К.О.</i> Аналіз виникнення заторів на нерегульованому перехресті у місті Кривий Ріг ..... | 49 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

### ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

|                                                                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Омельченко Т.А.</i> Модель процесса взаимодействия автомобильного и железнодорожного транспорта в транспортных узлах .....                         | 53 |
| <i>Горбачов П.Ф., Макарічев О.В., Чижик В.М.</i> Оцінка середнього часу очікування пасажирів транспортних засобів для маршрутної мережі міста .....   | 61 |
| <i>Горбачов П.Ф., Мосьян Н.В.</i> Формалізація процесу обслуговування разових замовлень на перевезення вантажів у міжміському сполученні .....        | 66 |
| <i>Горбачов П.Ф., Шевчук О.Ю.</i> Оцінка параметрів попиту на перевезення пасажирів між містами України.....                                          | 75 |
| <i>Горбачов П.Ф., Кочина А.А.</i> Вплив поїздок у приміському сполученні на інтенсивність руху на автомобільних дорогах загального користування ..... | 83 |

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Грицюк В.И.</i> Нечеткий робастный метод для оценивания регрессионной модели в страховании .....                  | 88 |
| <i>Семків О.М.</i> Графічний комп'ютерний спосіб визначення нехаотичних траєкторій коливань маятникових систем ..... | 94 |



## ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Маляр В.В.</b> Метод определения температурных напряжений в асфальтобетоне с помощью метода конечных элементов .....                                     | 102 |
| <b>Емельянова И.А., Бугаевский С.А.</b> Оборудование для возведения монолитных железобетонных конструкций системы «Монофант» способом торкретирования ..... | 107 |
| <b>Кондель В.М., Шевченко Ю.О., Лобода Д.О.</b> Аналіз коефіцієнтів поздовжнього згину з урахуванням міцності сталі.....                                    | 118 |
| <b>Кожушко В.П.</b> Распределительная способность жестких в поперечном сечении пролетных строений .....                                                     | 124 |
| <b>Кожушко В.П.</b> Гибкие пластины, три стороны которых защемлены, а четвертая – шарнирно оперта.....                                                      | 130 |
| <b>Кожушко В.П.</b> Распределительная способность балочных пролетных строений в опорном сечении.....                                                        | 135 |
| <b>Богомолов В.А.</b> Расчетное распределение давлений в пятне контакта шины с поверхностью дорожной одежды .....                                           | 143 |
| <b>Нікіфоров О.Л., Менеїлюк І.О., Єршов М.М.</b> Оптимізація реконструкції інженерних споруд при організаційно-технологічних обмеженнях.....                | 151 |
| <b>Процюк В.О., Батракова А.Г.</b> Алгоритм оцінки вологості ґрунтів земляного полотна за результатами георадіолокаційного обстеження .....                 | 157 |

## ЭКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Вишинецький О.Л., Мінка С.В., Попов І.І.</b> Шляхи вдосконалення методики вимірювання потужності еквівалентної дози дозиметром МКС-05 «ТЕРРА » під час радіометричного контролю поверхні ґрунту ..... | 162 |
| <b>Шевченко М.В.</b> Методология организации, планирования и синтеза системы мониторинга регионального газоснабжения .....                                                                               | 169 |
| <b>Лейбович Л.И., Пацурковский П.А.</b> Моделирование динамики поступления сероводорода в окружающую среду при работе насосов канализационных насосных станций .....                                     | 176 |
| <b>Канило П.М.</b> Автотранспорт, энергетика и глобальное потепление климата .....                                                                                                                       | 182 |



УДК 625.7/8

## АЛГОРИТМ ОЦІНКИ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОРАДІОЛОКАЦІЙНОГО ОБСТЕЖЕННЯ

**В.О. Процюк, асистент, Луцький національний технічний університет,  
А.Г. Батракова, проф., д.т.н.,  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет**

*Анотація.* Розглянуто вплив вологості на міцнісні та деформаційні характеристики підстильних ґрунтів. Запропоновано алгоритм оцінки вологості земляного полотна за результатами георадіолокаційного обстеження.

*Ключові слова:* дорожній одяг, земляне полотно, вологість, міцність, модуль пружності, діелектрична проникність.

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ

**В.А. Процюк, ассистент, Луцкий национальный технический университет,  
А.Г. Батракова, проф., д.т.н.,  
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет**

*Аннотация.* Рассмотрено влияние влажности на прочностные и деформационные характеристики подстилающих грунтов. Предложен алгоритм оценки влажности земляного полотна по результатам георадиолокационного обследования.

*Ключевые слова:* дорожная одежда, земляное полотно, влажность, прочность, модуль упругости, диэлектрическая проницаемость.

## THE ESTIMATION ALGORITHM OF SUBGRADE HUMIDITY ON THE GPR SURVEY RESULTS

**V. Protsiuk, T. Asst., Lutsk National Technical University, A. Batrakova,  
Prof., D. Sc. (Eng.), Kharkiv National Automobile and Highway University**

*Abstract.* The effect of humidity for strength and deformation characteristics of the underlying soils is considered. The estimation algorithm of subgrade humidity on the GPR survey results is proposed.

*Key words:* pavement, subgrade, humidity, strength, modulus of elasticity, dielectric constant.

### Вступ

Вологість є фактором, що сильно впливає на міцнісні та деформаційні характеристики ґрунтів земляного полотна та, відповідно, всієї конструкції дорожнього одягу. Спираючись на дані вітчизняних і зарубіжних нормативних документів [1, 2, 3] та результати експериментальних досліджень [4, 5], можна констатувати зниження міцнісних (більш ніж у 3 рази) та деформаційних (до 10 разів) характеристик підстильних ґрунтів зі збіль-

шенням вмісту вологи. Помилки у визначенні вологості підстильного ґрунту можуть стати причиною передчасного руйнування конструкції дорожнього одягу, погіршення транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг та збільшення витрат на ремонтні роботи.

Тому питання оцінки (зокрема й експериментальної) вологості ґрунтів є актуальним, про що свідчать численні вітчизняні та закордонні дослідження.

### Аналіз публікацій

Визначенню вологості підстильних ґрунтів та встановленню закономірностей її зміни у річному циклі присвячені дослідження В.М. Сіденка [6], О.Я. Тулаєва [7], В.І. Рувінського [8], І.А. Золотаря [7], Н.А. Пузакова [7], Е.І. Шелопаєва [9], М.Б. Корсунського [10]. У роботах учених відображені результати багаторічних досліджень, що були проведені на різних територіях (тип місцевості за характером зволоження), у різних дорожньо-кліматичних зонах, для різних умов роботи конструкції дорожнього одягу. Професором В.М. Сіденком розроблено теоретичні засади тепловологоперенесення у ґрунтах земляного полотна для У-I, У-II і У-III дорожньо-кліматичних зон.

Таким чином, на сьогодні створено надійний теоретичний фундамент з оцінки впливу вологості на міцнісні та деформаційні характеристики ґрунтів та несучу здатність конструкції дорожнього одягу.

### Мета і постановка завдання

Успішне застосування теоретичних методів передбачає застосування інструментальних методів оцінки вологості ґрунтів, які у наш час знаходяться у стадії становлення. Вибіркова оцінка характеристик ґрунтів земляного полотна для оцінки експлуатаційних властивостей автомобільної дороги, яка проводиться через 250 м [11], є недостатньою. Про це свідчать результати оцінки вологості ґрунтів земляного полотна, отримані за результатами обстеження автомобільних доріг загального користування [12, 13]. Як доводять результати польових обстежень [12, 13], вологість ґрунтів земляного полотна може істотно змінюватися навіть на незначних за протяжністю ділянках доріг. Це істотно знижує достовірність інформації, отриманої за результатами ґрунтово-геологічних вишукувань.

Усунення вказаних недоліків пов'язується з використанням методів підповерхневої георадіолокації, що адаптовані для вирішення задач діагностики ґрунтів земляного полотна. Безперечною перевагою георадарних технологій, порівняно з традиційними методами, є можливість оцінювання вологості підстильних ґрунтів у безперервному режимі на всій ділянці автомобільної дороги. Тому в роботі запропоновано метод оцінки вологості ґрун-

тів земляного полотна за результатами георадарної діагностики, що дозволяє визначати значення вологості підстильного ґрунту в безперервному режимі, з метою подальшого використання отриманих даних для оцінки міцності конструкції дорожнього одягу за критеріями граничного стану.

### Алгоритм оцінки вологості земляного полотна та несучої здатності конструкції дорожнього одягу

Методика визначення вологості ґрунту в польових умовах із застосуванням георадара «ОДЯГ-1» базується на основних закономірностях поширення електромагнітних хвиль в неоднорідному середовищі та складається з основних етапів:

- а) запис набору калібрувальних сигналів з метою видалення сигналу прямого проходження (сигнал, що проходить між випромінювачем та приймачем);
- б) сканування поверхні узбіччя автомобільної дороги;
- в) інтерпретація радарограм з метою встановлення діелектричної проникності ( $\epsilon$ );
- г) оцінка вологості ґрунту на узбіччі автомобільної дороги з використанням залежностей між електрофізичними (діелектрична проникність) параметрами та вологістю ґрунту;
- д) розрахунок вологості ґрунтів під конструкцією дорожнього одягу із застосуванням теоретичних рішень В.М. Сіденка [6];
- е) встановлення міцнісних та деформаційних характеристик ґрунтів з використанням залежностей між діелектричною проникністю, модулем пружності, кутом внутрішнього тертя та коефіцієнтом зчеплення ґрунту.

Перший етап передбачає калібрування антенного блока, визначення даних щодо типу та фізичних характеристик ґрунту, отриманих під час відбору зразка відповідно до ДСТУ Б В.2.1-8-2001 [14]. Калібрування антенного блока виконується з метою запису калібрувальних сигналів, які використовуються під час обробки георадарного профілю для визначення діелектричної проникності ґрунтів. Відбір зразка ґрунту здійснюється для встановлення типу й вологості ґрунту традиційним методом на початковій ділянці. Зразок також необхідно відбирати на ділянках, де ускладнюється інтерпретація даних георадарного зондування.



На другому етапі виконується сканування узбіччя автомобільної дороги георадаром з центральною частотою зонduючого імпульсу 1,2 ГГц. Зондування проводиться в повздовжньому і поперечному напрямках. Швидкість переміщення георадара обмежується рівністю поверхні узбіччя.

Третій етап передбачає використання алгоритму оцінки діелектричної проникності ґрунтів, що реалізує метод пошарового визначення діелектричної проникності шляхом вирішення задачі про відбиття монохроматичної хвилі від плоскошаруватого середовища [13]. Алгоритм реалізується в такій послідовності:

а) у процесі первинної обробки даних зондування за допомогою перетворення Гільберта визначаються часові затримки сигналів ( $\Delta t_i$ ) та їх амплітуди. Ця інформація є вихідною для роботи алгоритму;

б) визначається амплітуда сигналу, який випромінюється. Амплітуда цього імпульсу визначається у процесі отримання калібрувального сигналу від листа металу. Оскільки коефіцієнт відбиття від металу дорівнюватиме одиниці, то амплітуда під час відбиття від листа металу, яку реєструє приймальна антена, дорівнює амплітуді падаючого на поверхню імпульсу ( $A_{n-1,n}$ );

в) визначається амплітуда сигналу, відбитого від поверхні узбіччя. Цей сигнал першим реєструється приймальною антеною ( $A_{n,n-1}$ );

г) розраховується коефіцієнт відбиття від поверхні узбіччя

$$R_{n-1,n} = \frac{A_{n,n-1}}{A_{n-1,n}}; \quad (1)$$

д) розраховується діелектрична проникність. У загальному вигляді діелектрична проникність встановлюється за залежністю

$$\sqrt{\epsilon_n} = \sqrt{\epsilon_{n-1}} \frac{1 - R_{n-1,n}}{1 + R_{n-1,n}}. \quad (2)$$

Відомо, що діелектрична проникність повітря  $\epsilon_n = 1$ . Тоді з рівняння (2) діелектрична проникність верхнього шару ґрунту узбіччя (для обчисленого значення  $R_{0,1}$ ) може бути подана у вигляді

$$\sqrt{\epsilon_1} = \sqrt{\epsilon_n} \frac{1 - R_{0,1}}{1 + R_{0,1}}, \quad \epsilon_1 = \left( \frac{1 - R_{0,1}}{1 + R_{0,1}} \right)^2. \quad (3)$$

Вказаний алгоритм реалізований у програмному комплексі GeoVizy.

На четвертому етапі визначається вологість ґрунту на узбіччі з використанням залежностей між діелектричною проникністю та вологістю ґрунтів різних типів [15]:

а) супісок:

$$W = 0,002\epsilon^3 - 0,1073\epsilon^2 + 2,2134\epsilon + 4,4386;$$

б) суглинок:

$$W = -0,002\epsilon^3 + 0,0163\epsilon^2 - 0,0046\epsilon + 14,679;$$

в) глина:

$$W = -0,0013\epsilon^3 + 0,1009\epsilon^2 - 1,7474\epsilon + 26,147,$$

де  $W$  – вологість ґрунту, %;  $\epsilon$  – діелектрична проникність ґрунту, од.

Вихідними даними для реалізації п'ятого етапу є тип місцевості за характером зволоження та вологість ґрунту на узбіччі. Визначення вологості підстильного ґрунту під конструкцією дорожнього одягу проводиться з використанням розв'язку В.М. Сіденка [6]

$$W(z, T) = W_{\text{пв}} - [W_{\text{пв}} - (W_{\text{п}} + m_1 T)] \frac{z}{l} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{n} \exp \left( - \frac{\pi^2 n^2 a_1 T}{l^2} \right) \left[ W_{\text{п}} - W_{\text{пв}} - \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^2 a_1} \right] + \frac{(-1)^n m l^2}{\pi^2 n^3 a_1} \right\} \sin \frac{n \pi z}{l}, \quad (4)$$

де  $W$  – розрахункова вологість, ч.од.;  $W_{\text{пв}}$  – повна вологоємність ґрунту, ч.од.;  $W_{\text{п}}$  – початкова вологість, ч.од.;  $m$  – коефіцієнт, який характеризує інтенсивність наростання вологості ґрунту полотна, л/год;  $z$  – глибина, на якій проводиться розрахунок вологості, м;  $T$  – тривалість вологонакопичення, год.;  $l$  – відстань до джерела зволоження, м;  $n$  – розрахунковий шар;  $a_1$  – коефіцієнт вологопровідності, м<sup>2</sup>·год.

За результатами георадарного обстеження ділянки автомобільної дороги з II типом місцевості за характером зволоження (ґрунт – супісок) розраховано поле вологості ґрунту земляного полотна під дорожнім одягом упродовж періоду весняного вологонакопичення (рис. 1).



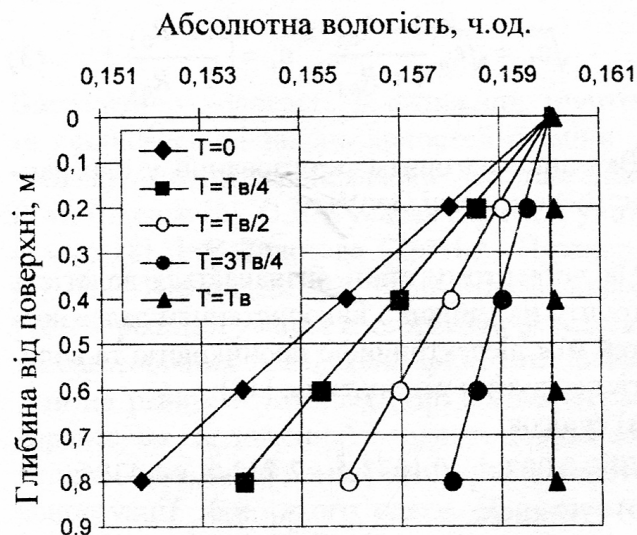


Рис. 1. Зміна поля вологості ґрунту під конструкцією дорожнього одягу

На завершальному етапі алгоритму визначаються міцнісні та деформаційні характеристики підстильного ґрунту. Вихідними даними є абсолютна вологість та відносна вологість ( $W$ ) ґрунту, а також експериментально встановлені залежності між діелектричною проникністю, модулем пружності, кутом внутрішнього тертя й коефіцієнтом зчеплення ґрунту [5, 15].

Якщо відомі або визначені експериментально [13] товщини шарів конструкції дорожнього одягу, стан матеріалу шарів основи та покриття відповідно до нормативних документів, розраховується міцність дорожнього одягу за критеріями граничного стану [1]. Схему запропонованого алгоритму оцінки вологості земляного полотна наведено на рис. 2.



Рис. 2. Алгоритм визначення вологості ґрунтів земляного полотна

Запропонований алгоритм може бути застосований під час вирішення задач моніторингу, що спирається на результати оцінки вологості та несучої здатності ґрунтів земляного полотна як у нерозрахунковий період, так і в період відтанення земляного полотна та максимального вологонакопичення.

### Висновки

Запропоновано алгоритм оцінки вологості підстильного ґрунту за результатами георадарного обстеження та залучення теорії теплововологоперенесення. Для підтвердження адекватності алгоритму проведено серію

польових випробувань [5, 15]. Ці результати, спільно з результатами лабораторних досліджень зв'язку діелектричної проникності ґрунтів різних типів з вологістю ґрунтів, їх мінцисними та деформаційними характеристиками складають основу:

- а) оцінки несучої здатності дорожнього одягу за змінних умов експлуатації;
- б) встановлення найбільш послаблених ділянок на етапі передпроектних вишукувань;
- в) визначення максимального навантаження на вісь у період зниження несучої здатності дорожнього одягу з метою попередження його передчасного руйнування.

### Література

1. Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу: ВБН В.2.3-218-186-2004. – Чинний від 2005-01-01. – К. : Державна служба автомобільних доріг України (Укравтодор), 2004. – 153 с. – (Стандарт Укравтодор).
2. Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования. ТПК 45-3.03-112-2008. – Действующий от 2009-07-01. – Офиц. изд. – Минск : Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2009. – 84 с. – (Технический кодекс установившейся практики).
3. Проектирование нежестких дорожных одежд : ОДН 218.046-01. – Действующий от 2001-01-01. – М. : Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба дорожного хозяйства России (РОСАВТОДОР), 2001. – 94 с. – (Отраслевые дорожные нормы).
4. Гнездилова С.А. Учёт изменений состояния грунтов при проектировании дорожных одежд (на примере Белгородской области) : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук : спец. 05.23.11 «Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей» / С.А. Гнездилова. – М., 2010. – 23 с.
5. Ряпухін В.М. Дослідження зв'язку між електрофізичними і деформаційними характеристиками ґрунту / В.М. Ряпухін, А.Г. Батракова, В.О. Процюк // Містобудування та територіальне планування: науково-технічний збірник. – 2012. – Вип. 45. – С.102–107.
6. Сиденко В.М. Расчет и регулирование водно-теплого режима дорожных одежд и земляного полотна / В.М. Сиденко. – М.: Автотрансиздат, 1962. – 116 с.
7. Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / под. ред. И.А. Золотаря. – М. : Транспорт, 1971. – 416 с.
8. Рувинский В.И. Оптимальные конструкции земляного полотна / В.И. Рувинский. – М.: Транспорт, 1982. – 168 с.
9. Шелопаев Е.И. Прогнозирование водно-теплого режима земляного полотна и дорожной одежды с применением ЭВМ / Е.И. Шелопаев // Автомобильные дороги. – 1973. – № 10. – С. 26.
10. Корсунский М.Б. Оценка прочности дорог с нежесткими одеждами / М.Б. Корсунский. – М.: Транспорт, 1966. – 151 с.
11. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. – Чинний від 2008-07-01. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 72 с. – (Державний стандарт України).
12. Кулижников А.М. Неразрушающие георадарные методы в инженерных изысканиях / А.М. Кулижников, А.А. Белозеров // Геопрофи. – 2004. – № 5. – С. 44–47.
13. Батракова А.Г. Оценка состояния дорожных одежд с привлечением георадарных технологий : монография / А.Г. Батракова. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 156 с.
14. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків : ДСТУ Б В.2.1-8-2001. – Чинний від 2002-04-01. – К. : Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2002. – 16 с. – (Державний стандарт України).
15. Процюк В.А. Применение георадарных технологий при определении прочностных характеристик грунтов земляного полотна / В.А. Процюк, А.Г. Батракова // Автомобильные дороги и мосты. – 2013. – Вып. 2 (12). – С. 40–44.

Рецензент: В.К. Жданюк, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 22 березня 2016 р.



Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного  
университета

и

Северо-Восточного научного центра  
Транспортной академии Украины

Сборник научных трудов

Выпуск 72

Учредитель: Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Регистрационное свидетельство: серия КВ, № 395, дата регистрации 2.02.94 г.

Адрес редакции: 61200, г. Харьков, ул. Петровского, 25, тел. 707-37-99.

Редакторы

*Е.В. Хорошилова, И.В. Кривушкина, Л.В. Кузьмина*

Компьютерная верстка

*Н.А. Кутиной*

Технический редактор

*М.Л. Пиц*

Рекомендовано к изданию ученым советом ХНАДУ, протокол № 5/16 от 26.02.2016

Подписано в печать с оригинал-макета 14.04.2016 г. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.

Гарнитура Times New Roman Cyt. Усл. печ. л. 22,5. Уч.-изд. л. 25,5.

Тираж 100 экз. Заказ № 182/16. Цена договорная.

#### **ИЗДАТЕЛЬСТВО**

**Харьковского национального автомобильно-дорожного университета**

**Издательство ХНАДУ, ул. Петровского, 25. г. Харьков—ГСП. 61002**

**Тел. /факс: (057)700-38-72; 707-37-03, e-mail: rio@khadi.kharkov.ua**

*Свидетельство Государственного комитета информационной политики, телевидения  
и радиовещания Украины о внесении субъекта издательского дела в Государственный  
реестр издателей, изготовителей и распространителей издательской продукции,  
серия ДК № 897 от 17.04.2002 г.*