

ISSN 2618-0332 (print)
ISSN 2618-0340 (online)

Міністерство освіти і науки України

Херсонський національний технічний університет

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Т. 6, №2

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 6 від 26 грудня 2023 року)

Журнал включений до Реєстру наукових фахових видань України категорії Б
На підставі Наказу МОН України від 17 березня 2020 року № 409

Журнал включено до наукометричних баз, електронних бібліотек та репозитаріїв:
Google Scholar, Index Copernicus International World of Journals, CiteFactor Academic Scientific
Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky)



Видавничий дім
«Гельветика»
2023

Редакційна рада

Головний редактор

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри загальноосвітніх, гуманітарних та природничих дисциплін Херсонського національного технічного університету

Заступники головного редактора

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем Чорноморського національного університету ім. П. Могили (м. Миколаїв)

Литвиненко О.І.

к.т.н., доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та фізико-математичних дисциплін Херсонського навчально-наукового інституту Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова

Відповідальний секретар

Омельчук А.А.

к.т.н., провідний фахівець кафедри комп'ютерних та інформаційних технологій і систем Державного податкового університету

Члени редакційної колегії за спеціальностями:

Іноземні фахівці

Бабічев С.О.

к.т.н., доцент (Чехія)

Гучек П.Й.

д.т.н., доцент (Польща)

113 – Прикладна математика

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент

Гвоздева І.М.

д.т.н., професор

Гнатушенко В.В.

д.т.н., доцент

Ляшенко В.П.

д.т.н., професор

Миргород В.Ф.

д.т.н., доцент

Різник В.В.

д.т.н., професор

Стрельнікова О.О.

д.т.н., професор

Хомченко А.Н.

д.ф.-м.н., професор

122 – Комп'ютерні науки

Борисенко В.Д.	д.т.н., професор
Ванін В.В.	д.т.н., професор
Вірченко Г.А.	д.т.н., професор
Гнатушенко В.В.	д.т.н., професор
Гумен О.М.	д.т.н., професор
Корчинський В.М.	д.т.н., професор
Литвиненко В.І.	д.т.н., професор
Мартин Є.В.	д.т.н., професор
Несвідомін В.М.	д.т.н., професор
Пилипака С.Ф.	д.т.н., професор
Устенко С.А.	д.т.н., професор
Шоман О.В.	д.т.н., професор

126 – Інформаційні системи та технології

Аль-Амморі А.Н.	д.т.н., професор
Баклан І.В.	к.т.н., доцент
Бень А.П.	к.т.н., доцент
Левикін В.М.	д.т.н., професор
Литвиненко О.І.	к.т.н., доцент
Мороз Б.І.	д.т.н., професор
Стеценко І.В.	д.т.н., професор
Шерстюк В.Г.	д.т.н., професор

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Алексєєв М.О.	д.т.н., професор
Головко В.І.	д.т.н., професор
Кондратець В.О.	д.т.н., професор
Мещеряков Л.І.	д.т.н., професор
Омельчук А.А.	к.т.н.
Осадчий С.І.	д.т.н., професор
Рудакова Г.В.	д.т.н., професор

Інші спеціальності

Дудченко О.М.	к.ф.-м.н., доцент
Кузьмич В.І.	к.ф.-м.н., доцент
Літвінова М.Б.	д.пед.н., к.ф.-м.н., професор

ISSN 2618-0332 (print)
ISSN 2618-0340 (online)

Ministry of Education and Science of Ukraine

Kherson National Technical University

APPLIED QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELLING

V. 6, №2

Recommended for publication by the Academic Council of
Kherson National Technical University
(Minutes No 6 on 26th December 2023)

The journal is included in the scientometric bases, electronic libraries and repositories:
Google Scholar, Index Copernicus International World of Journals, CiteFactor Academic Scientific
Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky).



Publishing House
“Helvetica”
2023

Editorial Board

Editor-in-Chief

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of General Education, Humanities and Natural Science Disciplines of Kherson National Technical University

Deputies Editor-in-Chief

Khomchenko A.N.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Professor at the Department of Intelligent Information Systems of the Petro Mohyla Black Sea National University

Lytvynenko O.I.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information Technology and Physical and Mathematical Disciplines of the Kherson Educational and Scientific Institute of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding

Executive Secretary

Omelchuk A.A.

Ph.D., Senior Specialist at the Department of Computer and Information Technologies and Systems of the State Tax University

Members of Editorial Board by Specialties:

Foreign Specialists

Babichev S.O.

Ph.D., Associate Professor (Czech Republic)

Huchek P.Y.

Doctor of Engineering Science,
Associate Professor (Republic of Poland)

113 – Applied Mathematics

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor

Hvozdeva I.O.

Doctor of Engineering Science, Professor

Hnatushenko V.V.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor

Liashenko V.P.

Doctor of Engineering Science, Professor

Myrhorod V.F.

Doctor of Engineering Science, Associate Professor

Riznyk V.V.

Doctor of Engineering Science, Professor

Strelnikova O.O.

Doctor of Engineering Science, Professor

Khomchenko A.N.

Doctor of Physical and Mathematical Sciences,
Professor

122 – Computer Science

Borysenko V.D.
Vanin V.V.
Virchenko H.A.
Hnatushenko V.V.
Humen O.M.
Korchynskyi V.M.
Lytvynenko V.I.
Martyn Ye.V.
Nesvidomin V.M.
Pylypaka S.F.
Ustenko S.A.
Shoman O.V.

Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor

126 – Information Systems and Technologies

Al-Ammori A.N.
Baklan I.V.
Ben A.P.
Levykin V.M.
Lytvynenko O.I.
Moroz B.I.
Stetsenko I.V.
Sherstiuk V.H.

Doctor of Engineering Science, Professor
Ph.D., Associate Professor
Ph.D., Associate Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Ph.D., Associate Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor

151 – Automation and Computer Integrated Technologies

Aleksieiev M.O.
Holovko V.I.
Kondratets V.O.
Meshcheriakov L.I.
Omelchuk A.A.
Osadchyi S.I.
Rudakova H.V.

Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor
Ph.D.
Doctor of Engineering Science, Professor
Doctor of Engineering Science, Professor

Other Specialties

Dudchenko O.N.
Kuz'mich V.I.
Litvinova M.B.

Ph.D., Professor
Ph.D., Associate Professor
Doctor of Pedagogical Sciences, Ph.D.
(physpcs and mathematics), Professor

ЗМІСТ

БІДА С.В., ЗОЦЕНКО М.Л., ПАВЕЛЬЄВА А.К., ЛАПІН М.І. МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗСУВНОГО СХИЛУ ГОРИ «ПИВИХА» ПРИ ПРОВЕДЕННІ БЕРЕГОУКРІПЛЮВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ НА КРЕМЕНЧУЦЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ..9	
ГУМЕН О.М., РАЧЕК К.О. НЕЙРОННІ МЕРЕЖІ ТА МАШИННЕ НАВЧАННЯ У ОБРОБЦІ ДАНИХ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КОСМІЧНОЇ ПОГОДИ.....19	19
GUMEN O.M., SELINA I.V. MODELING OF A SAFE ELECTRICAL SUPPLY MODE FOR PRODUCTION PREMISES24	24
ДАНИЛІНА Г.В., РАШЕВСЬКИЙ М.О., САМУСЕНКО П.Ф. АСИМПТОТИЧНЕ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧІ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ЛІНІЙНИМИ СИСТЕМАМИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ВИРОДЖЕННЯМИ.....30	30
ДЕГТЯРЬОВ К.Г., ВЕРУШКІН І.О., КРЮТЧЕНКО Д.В., СТРЕЛЬНИКОВА О.О., ЗАЙДЕНВАРГ О.Л., НАУМЕНКО Ю.В. МЕТОД ГІПЕРСИНГУЛЯРНИХ ІНТЕГРАЛЬНИХ РІВНЯНЬ В КРАЙОВИХ ЗАДАЧАХ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ.....39	39
ДЕГТЯРЬОВ К.Г., КРЮТЧЕНКО Д.В., ГНІТЬКО В.І., ВЕРУШКІН І.О., КОРНІЙЧУК М.Т. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОПРУЖНИХ КОЛИВАНЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЗА НЕЧІТКИХ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ.....49	49
КАГАДІЙ Т.С., ШПОРТА А.Г., БІЛОВА О.В., ЩЕРБИНА І.В., ГОВОРУХА В.Б. ДИНАМІЧНА ВЗАЄМОДІЯ СТРИНГЕРУ ТА КРИВОЛІНІЙНОГО ОРТОТРОПНОГО НАПІВПРОСТОРУ...60	60
КРАСЮК Б.В. РОЗРОБКА СППР ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БОРОТЬБИ З ВНУТРІШНІМ КОНФЛІКТОМ.....68	68
ЛЕНЮК О.М., НІКІТИНА О.М., ШИНКАРИК М.І. МОДЕЛЮВАННЯ ДИФУЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДОМ ГІБРИДНОГО ІНТЕГРАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ТИПУ ЕЙЛЕРА-БЕССЕЛЯ НА СЕГМЕНТІ.....76	76
МАЗМАНІШВІЛІ О.С. ОБЧИСЛЮВАЛЬНІ АЛГОРИТМИ ДЛЯ РОЗПОДІЛІВ ІНТЕГРАЛЬНИХ КВАДРАТИЧНИХ ФУНКЦІОНАЛІВ, ВИЗНАЧЕНИХ НА РОЗВ'ЯЗКАХ СТОХАСТИЧНИХ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ.....82	82
МИРОНЕНКО І.М., ЛИТВИНЕНКО В.В., ЄГУПОВ В.К. МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНІВ ПРИ ЇХ СКЛАДНОМУ НАВАНТАЖЕННІ.....90	90
МОСЬПАН Д.В., ЮРКО О.О., ПЕРЕКРЕСТ А.Л. ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХОМОГО ОБ'ЄКТА ЗА ПОСЛІДОВНІСТЮ ВІДЕОЗОБРАЖЕНЬ ЗАСОБАМИ LABVIEW.....96	96
МОСЬПАН Д.В., ЮРКО О.О., ПЕРЕКРЕСТ А.Л. БІНАРІЗАЦІЯ ЗОБРАЖЕННЯ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТА В УМОВАХ НЕОДНОРІДНОГО ФОНУ ЗАСОБАМИ LABVIEW.....105	105
ПАВЛЕЦЬ О.Д., ДУБРОВІН В.І., ДЕЙНЕГА Л.Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ.....114	114
PETRYK M.R., MYKHAYUK D.M., BREVUS V.M., GOYANYUK I.V. HIGH-PERFORMANCE INFORMATION TECHNOLOGIES TO STUDY FILTRATION PROCESSES IN MEDIA WITH VARIABLE-SIZED NANOPOROUS PARTICLES.....122	122
ТКАЧЕНКО С.М. КЕРУВАННЯ СКИДАЛЬНИМ ВІЗКОМ ПОРТОВОГО ЕЛЕВАТОРА ЯК НЕПОЗИЦІОНОВАНИМ МЕХАНІЗМОМ.....132	132
ХОМЧЕНКО А.Н., ЛИТВИНЕНКО О.І., ГУЧЕК П., АСТІОНЕНКО І.О. «ДУТА» МОДА КВАДРАТНОГО СКІНЧЕННОГО ЕЛЕМЕНТА: КОГНІТИВНО-ГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ.....140	140

CONTENTS

BIDA S.V., ZOTSENKO M.L., PAVELIEVA A.K., LAPIN M.I. MODELLING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE LANDSLIDE SLOPE OF MOUNT PYVYKHA DURING BANK PROTECTION MEASURES AT THE KREMENCHUK RESERVOIR.....	9
GUMEN O.M., RACHEK K.O. NEURAL NETWORKS AND MACHINE LEARNING IN DATA PROCESSING FOR SPACE WEATHER FORECASTING.....	19
GUMEN O.M., SELINA I.B. MODELING OF A SAFE ELECTRICAL SUPPLY MODE FOR PRODUCTION PREMISES	24
DANYLINA G.V., RASHEVS'KYI M.O., SAMUSENKO P.F. ASYMPTOTIC SOLUTION OF THE PROBLEM OF OPTIMAL CONTROL OF LINEAR SYSTEMS OF DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH DEGENERATIONS.....	30
DEGTYAREV K.G., VIERUSHKIN I.A., KRIUTCHENKO D.V., STRELNIKOVA E.A., ZAYDENVARG O.L., NAUMENKO YU.V. METHOD OF HYPER-SINGULAR INTEGRAL EQUATIONS IN BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF FRACTURE MECHANICS.....	39
DEGTYAREV K.G., KRIUTCHENKO D.V., GNITKO V.I., VIERUSHKIN I.A., KORNEICHUK M.T. COMPUTER MODELING HYDROELASTIC VIBRATIONS OF STRUCTURE ELEMENTS UNDER FUZZY LOADING CONDITIONS.....	49
KAGADIY T.S., SHPORTA A.H., BILOVA O.V., SCHERBINA I.V., GOVORUKHA V.B. DYNAMIC INTERACTION OF STRINGER AND CURVILINEAR ORTHOTROPIC HALF-SPACE.....	60
KRASIUK B.V. DEVELOPMENT OF A DECISION SUPPORT SYSTEM TO MODEL THE PROCESS OF INFORMATION WARFARE WITH INTERNAL CONFLICT.....	68
LENYUK O.M., NIKITINA O.M., SHYNKARYK M.I. MODELING OF DIFFUSION PROCESSES BY THE METHOD OF HYBRID INTEGRAL TRANSFORM OF EULER-BESSEL TYPE ON THE SEGMENT.....	76
MAZMANISHVILI O.S. COMPUTATIONAL ALGORITHMS FOR DISTRIBUTIONS OF INTEGRAL QUADRATIC FUNCTIONALS, DETERMINED BY SOLUTIONS OF STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS.....	82
MYRONENKO I.M., LITVYNENKO V.V., IEGUPOV V.K. MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE UNDER THEIR COMPLEX LOAD.....	90
MOSPAN D.V., YURKO O.O., PEREKREST A.L. DETERMINING THE SPEED OF A MOVING OBJECT BY SEQUENCE OF VIDEO IMAGES USING LABVIEW.....	96
MOSPAN D.V., YURKO O.O., PEREKREST A.L. IMAGE BINARIZATION TO FIND AN OBJECT IN CONDITIONS OF AN INHOMOGENEOUS BACKGROUND USING LABVIEW.....	105
PAVLETS O.D., DUBROVIN V.I., DEYNEGA L.YU. RESEARCH ON THE COMPETITIVENESS OF REGIONS IN UKRAINE.....	114
PETRYK M.R., MYKHALYK D.M., BREVUS V.M., GOYANYUK I.V. HIGH-PERFORMANCE INFORMATION TECHNOLOGIES TO STUDY FILTRATION PROCESSES IN MEDIA WITH VARIABLE-SIZED NANOPOROUS PARTICLES.....	122
TKACHENKO S.M. CONTROLLING THE PORT ELEVATOR DISCHARGE TROLLEY AS A NON-POSITIONED MECHANISM....	132
KHOMCHENKO A.N., LITVYNENKO O.I., GUCHEK P., ASTIONENKO I.O. “BLOWN” MODE OF A SQUARE FINITE ELEMENT: A COGNITIVE AND GRAPHICAL ANALYSIS.....	140

УДК 624.131.23

С.В. БІДА

Полтавський державний аграрний університет

М.Л. ЗОЦЕНКО, А.К. ПАВЕЛЬСВА

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

М.І. ЛАПІН

ТОВ «Єрствівський гірничо-збагачувальний комбінат»

МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗСУВНОГО СХИЛУ ГОРИ «ПИВИХА» ПРИ ПРОВЕДЕННІ БЕРЕГОУКРІПЛЮВАЛЬНИХ ЗАХОДІВ НА КРЕМЕНЧУЦЬКОМУ ВОДОСХОВИЩІ

Розглянуто стійкість зсувного схилу узбережжя Кременчуцького водосховища у межах якого знаходиться державний геологічний пам'ятник України – гора «Пивиха». Руйнування гори почалося після створення у кінці 1960-х років Кременчуцького водосховища. Неодноразово проводилось вивчення інженерно-геологічних умов ділянки узбережжя з метою розробки захисних заходів для збереження гори, однак завдяки руйнуючій діяльності хвиль узбережжя постійно руйнується і на ньому відбуваються зсувні процеси. Для вивчення можливості збереження гори Пивиха у сучасному стані були проведені інженерно-геологічні дослідження, що включали збирання та систематизацію раніше проведених вишукувань та проведення додаткових польових робіт і лабораторних випробувань зразків ґрунтів, відібраних по всій довжині узбережжя. Для більш детального вивчення проблеми стійкості узбережжя було проведено моделювання напружено-деформованого стану схилу з використанням програмного пакету Plaxis, призначеного для розрахунку стійкості та визначення деформацій геотехнічних споруд з використанням математичного апарату у вигляді методу скінчених елементів. Для моделювання ґрунтів використовується пружно-пластична задача, яка поставлена так, щоб властивості ґрунтового середовища, які враховуються в розрахунку, могли бути описані характеристиками, що визначаються за стандартними методами. Метод скінчених елементів дозволяє створення розрахункової схеми, яка враховує будь-яке нашарування ґрунтів. Окрім того, Plaxis відзначається повнотою та ілюстративністю результатів розрахунків. За результатами моделювання визначені найбільш небезпечні зони виникнення зсувних процесів та параметри стійкості схилу по найбільш небезпечних профілях. На основі вивчення розташування зон з максимальними зсувними напруженнями у перерізах були отримані найбільш вірогідні положення площин ковзання ґрунтів, що складають схил. Значення коефіцієнтів стійкості схилу у критичному стані значно менші одиниці, що свідчить про аварійний стан даного схилу. Також визначені безпечні зони розташування техніки при проведенні берегоукріплювальних робіт з урахуванням відстані можливого переміщення масиву ґрунту від підніжжя схилу.

Ключові слова: зсув, коефіцієнт стійкості, моделювання.

S.V. BIDA

Poltava State Agrarian University

M.L. ZOTSENKO, A.K. PAVELIEVA

National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic"

M.I. LAPIN

Yerystivo Mining and Processing Plant, LLC

MODELLING OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE LANDSLIDE SLOPE OF MOUNT PYVYKHA DURING BANK PROTECTION MEASURES AT THE KREMENCHUK RESERVOIR

The authors study the stability of the landslide slope of the coast of the Kremenchuk reservoir, within which the state geological monument of Ukraine – Mount Pyvykha – is located. The destruction of the mount began after the Kremenchuk reservoir was created in the late 1960s. The engineering and geological conditions of the coastline have been repeatedly studied to develop protective measures to preserve the mount. However, due to the destructive activity of waves, the coastline is constantly being destroyed, and landslides are occurring. Engineering and geological studies were carried out to study the possibility of preserving Mount Pyvykha in its current state, including the collection and systematisation of previously conducted surveys and additional fieldwork and laboratory testing of soil samples collected along the entire length of the coast. For a more detailed study of the coastal stability problem, the stress-strain state of the slope was modelled using the Plaxis software package designed to calculate the stability and determine the deformations

of geotechnical structures using the finite element method. Soil modelling is based on an elastic-plastic problem so that characteristics determined by standard methods can describe the properties of the soil environment considered in the calculation. The finite element method allows for creating a design scheme that considers any soil layering. In addition, Plaxis is distinguished by the completeness and illustrative nature of the calculation results. Based on the modelling results, the most dangerous zones of landslide processes and slope stability parameters along the most hazardous profiles were determined. Based on the study of the location of the zones with maximum shear stresses in the cross-sections, the most probable positions of the sliding planes of the soils that make up the slope were obtained. The values of the slope stability coefficients in the critical state are significantly less than one, which indicates the emergency condition of this slope. Safe zones for equipment location during bank protection works were also determined, considering the distance of possible movement of the soil mass from the foot of the slope.

Key words: shear, stability coefficient, modelling.

Постановка проблеми

На лівому березі Кременчуцького водосховища поблизу с.м.т. Градизьк розташована одна із найбільш мальовничих місцин не лише Полтавщини, а і усієї України – гора Пивиха. Гора має давню історію. За переказами, колись тут було поселення Пива, що належало боярам Пивам. У 1489 році король Польщі Казимир IV подарував землі і різні угіддя, розташовані довкола гори Пивихи, Київському Пустинно-Миколаївському монастирю, ченці якого у XVI ст. заснували тут Пивгородський Миколаївський монастир. Монастир на Пивисі став релігійно-політичним осередком українського народу у визвольній війні за свою державність. Однак пізніше він був зруйнований. У 2008 році Пивиха представляла Полтавщину на всеукраїнському конкурсі «Сім природних чудес України». Естетична привабливість гори Пивиха є не меншою, ніж привабливість відомих місць кримського узбережжя. На жаль, останнім часом все активніше проходить руйнування гори, у чому домінуючу роль відіграють антропогенні фактори.



Рис. 1. Загальний вигляд гори Пивиха

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Після зведення в кінці 1960-х років Кременчуцького водосховища Пивиха поступово руйнується. Щорік вода поглинає близько 7 метрів гори. Сьогодні вже розмито понад 600 метрів Пивихи. Люди знаходять залишки древнього монастиря, які вимиваються дніпровськими хвилями. Тепер гору всіляко прагнуть зберегти. Вздовж берега проводяться укріплювальні роботи, що складаються, в основному, з протирозійних насаджень.

Дослідженням феномену гори Пивихи у кінці XIX і на початку XX ст. присвятили свою увагу практично всі без винятку відомі вчені-геологи. У ті часи гору Пивиху разом з такими відомими природними об'єктами, як Канівські дислокації, Висачківський горб, гора Калитка, відносили до складу «лінії Карпінського», що об'єднувала у єдиний тектонічний ланцюг Карпати, складчастий Донбас, Кавказ та Мангішлак [1]. На думку Д. Соболева, гора Пивиха є прикладом льодовикової препарції поверхні. Серед численних робіт про Пивиху початку минулого сторіччя виділяються публікації геологів В. Різниченка та Б. Лічкова. Пізніші (на

початку 1970-х років) узагальнення були виконані колективом Інституту геологічних наук НАН України. Ця робота входила в серію робіт з вивчення Чорнобильських та Кам'янка-Ірпінських дислокацій. Відносно геоструктурної обумовленості положення дислокацій гори Пивихи та інших наприкінці 1980-х років було висунуте припущення про їхній зв'язок з лінійними морфоструктурними зонами, в зону впливу яких входять різні дислоковані ділянки долини Дніпра. У подальшому проводились роботи щодо детального вивчення інженерно-геологічних умов території та розробки проекту укріплення берегів Кременчуцького водосховища [2].

У відслоненнях Пивихи присутні мергель, глина, пісок, кристалічний гіпс. У регіоні лише на території Пивихи є місця виходу на денну поверхню блакитного мергелю – рідкісної вапнякової породи, яка використовується в будівництві.

Для вивчення можливості збереження гори Пивиха у сучасному стані були проведені інженерно-геологічні дослідження, що включали збирання та систематизацію раніше проведених вишукувань та проведення додаткових польових робіт і лабораторних випробувань зразків ґрунтів, відібраних по всій довжині узбережжя.

В орографічному відношенні територія розташована на кордоні Придніпровського підвищення та лівобережної Дніпровської западини. В геоморфологічному відношенні територія, яка захищається – це уступ у надзаплавній терасі р. Дніпро з позначками поверхні Землі 95–150 м.

В геологічній будові ділянки приймають участь відклади четвертинної та палеогенової систем.

Відклади четвертинної системи складаються комплексом алювіальних піщано-глинистих відкладів, суглинками та глинами четвертинного віку, льодовиковими, еолово-делювіальними лесовими ґрунтами, загальною потужністю 25–30 м. Підстилаються четвертинні відклади зеленувато-сірими і світло-голубими мергелями київської світи, потужністю більш ніж 46 м.

У нижній частині схилу, де проводиться берегоукріплення, процесами акумуляції наносів водосховища утворилася обмілина, яка складена пісками потужністю 4–10 м.

Мета дослідження

Метою проведених досліджень було визначення стану схилу узбережжя Кременчуцького водосховища та надання рекомендацій щодо безпечного проведення робіт по берегоукріпленню.

Викладення основного матеріалу дослідження

На ділянці для детального вивчення було виділено 12 створів (профілів), за якими виконувалися роботи з визначення топографії схилу, нашарувань ґрунтів, що його складають, а також фізико-механічних властивостей ґрунтів. Фрагмент схеми із створами, за якими виконувались дослідження, наведений на рис. 2.

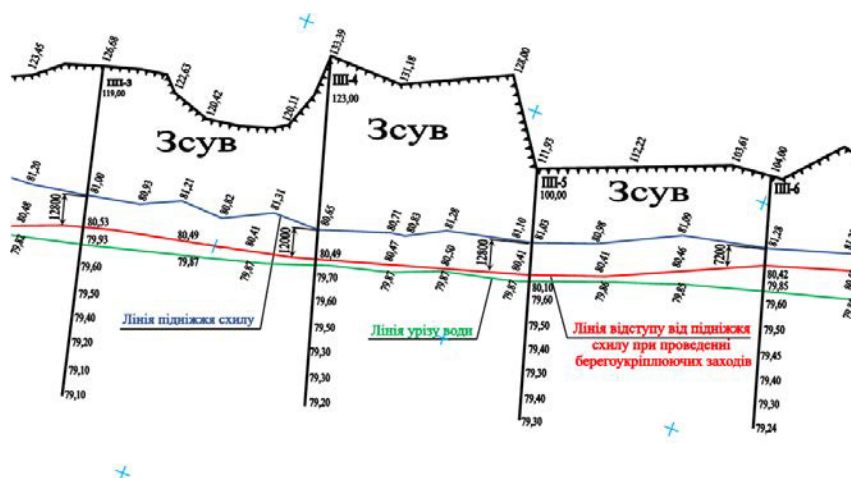


Рис. 2. Фрагмент схеми із створами ПП-3, ПП-4, ПП-5, ПП-6

У результаті проведення вишукувальних робіт, вивчення архівних та фондових матеріалів встановлено таке нашарування ґрунтів:

ПГЕ-1 – ґрунтово-рослинний шар потужністю 0,1–0,3 м;

ПГЕ-2 – пісок жовто-сірий, дрібний, середнього ступеня насичення водою, середньої щільності; потужністю 4–8 м;

ПГЕ-7 – пісок дрібний темно-сірий, середньої щільності, малого ступеню водонасичення, потужністю 2–4 м;

ПГЕ-11^а та **ПГЕ-12^а** – суглинки, жовто-коричневі, напівтверді, потужністю 2,0–3,2 м;

ПГЕ-13^а глина, коричнева, тверда, потужністю 15–20 м;

ПГЕ-13 – суглинок палевий, твердий, просадочний, потужністю 2,8–3,1 м;

ПГЕ-13^б – пісок, пилюватий, жовто-сірий, середньої щільності, малого ступеню насичення водою, потужністю 5–6 м;

ПГЕ-13^в – супісок, твердий, потужністю 2–3 м;

ПГЕ-22 – мергель, глина напівтверда, потужністю більше 46 м.

Гідрогеологічні умови території характеризуються наявністю постійного безнапірного водоносного горизонту ґрунтового типу, розвантаження якого відбувається у бік водосховища за улоговинами у водотривкому шарі. Водотривким шаром служить ПГЕ-22.

Фізико-механічні характеристики ґрунтів визначалися на основі вивчення архівних і фондових матеріалів та у лабораторних умовах методами визначення довготривалого та структурного зчеплення [3–9].

В процесі рекогносцировки ділянки схилу візуально встановлено його стан. На фото (рис. 3) чітко видно, що схил зсувний. Про це свідчать численні заколи, місцеві відділення окремих стовпів ґрунту. У підніжжі схилу розташовані масивні брили продуктів руйнування, які ще не розмиті водою. Це підтверджує безперервність процесу руйнування схилу і, внаслідок цього, велику небезпеку при знаходженні в зоні дії зсуву людей і будівельної техніки.



Рис. 3. Зсувні процеси у вигляді зсувів-обвалів блоків порід

Для визначення стійкості схилу було застосовано програмний комплекс Plaxis.

Plaxis – програмний пакет, який призначений для розрахунку стійкості та визначення деформацій геотехнічних споруд з використанням математичного апарату у вигляді методу скінчених елементів. Проектування геотехнічних споруд вимагає складання дискретних моделей для моделювання нелінійної, реологічної поведінки ґрунту. Оскільки ґрунтові умови представлені нашаруванням порід з різними властивостями і характеристиками, а самі породи

є трифазними системами, необхідні спеціальні розрахунки для моделювання порового тиску у різних варіантах. Задачу було реалізовано за допомогою комплексу Plaxis, адже він володіє спеціальними можливостями для роботи з багатьма аспектами складних геотехнічних споруд.

Plaxis може бути застосований для вирішення більшості задач у сфері традиційної механіки ґрунтів. Він охоплює питання спорудження та експлуатації різних видів фундаментів, виконання земляних робіт (влаштування котлованів, траншей, насипів тощо), будівництва підпірних стін, розрахунку стійкості укосів та схилів, розрахунків дорожнього насипу (в тому числі і на динамічний вплив), прокладання тунелів та інших робіт у сфері геотехніки.

Програмний комплекс має всі можливості вводу-виводу інформації на екран у зручному для користувача інтерфейсі (у табличній та графічній формі – у вигляді графіків та рисунків). Він також дозволяє врахувати нелінійність процесів деформування основи, використовуючи для цього пружно-пластичну модель ґрунту.

У постановці пружно-пластичної задачі прийняті наступні передумови:

- враховані прояви нелінійності містять пластичну деформацію формозміни при складному напруженому стані, безперешкодне деформування при розтязі, зсув по заданій поверхні;
- при складному напруженому стані (стиску зі зрушенням) загальні деформації включають у себе лінійну (пружну) та пластичну частини, причому пластична складова деформацій виникає після досягнення напруженим станом границі міцності і відповідності з умовою Мора-Кулона для плоскої задачі:

$$\frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) + \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \sin \phi - c \cdot \cos \phi = 0. \quad (1)$$

Дискретизація розрахункової області при розв'язанні нелінійної задачі виконується за допомогою методу скінчених елементів.

Програмний комплекс Plaxis дозволяє розглядати напружено-деформований стан при одночасному прикладанні всіх навантажень або ж застосувати покрокове прикладання навантаження. При проведенні розрахунків може бути врахований вихідний напружений стан, який досягнутий системою до прикладання навантаження.

У розрахунках використовуються скінчені елементи у вигляді пружно-пластичних пластин трикутного перерізу. Компоненти напружень визначаються тільки в центрах континуальних скінчених елементів, що моделюють ґрунт, переміщення – в вузлах сітки.

Інформація що вводиться складається із наступних масивів вихідних даних:

- координати вузлів;
- в'язі (вузли із нульовими переміщеннями та вузли з рівними переміщеннями);
- опис навантажень (величина, напрямок та точки (вузли) до яких прикладається);
- опис скінчених елементів (номери вузлів, площі перерізів та моменти інерції стрижнів; фізико-механічні характеристики ґрунтів, кут нахилу поверхні скозання, природний та вихідний напружений стан);
- максимальна кількість циклів ітерацій.

На друк видаються наступні результати розрахунку:

- переміщення вузлів;
- компоненти напружень в центрах континуальних скінчених елементів;
- поздовжні, поперечні сили та моменти на кінцях стрижневих елементів.

Особливістю методу що розглядається є виконання розрахунків по граничних станах обох груп на одній розрахунковій схемі при одній моделі ґрунту. Практично розрахунок може бути виконаний шляхом поетапного навантаження: діючим навантаженням надається величина, які відповідає розрахунку за граничними станами другої групи, потім сили збільшуються до розмірів розрахункових найбільш невідповідних величин.

Центральним питанням розрахунку основ та ґрунтових споруд за граничними станами першої групи є оцінка можливості втрати міцності та стійкості внаслідок розвитку значних зрушень та допустимості пластичних деформацій ґрунту. Збіг ітераційного процесу, тобто вирішення, яке задовольняє всі встановлені вимоги (за допустимою нев'язкою), свідчить про отримання статичного напруженого стану, що виключає втрату міцності та стійкості.

Пружно-пластична задача, що розглядається, поставлена так, щоб властивості ґрунтового середовища, які враховуються в розрахунку, могли бути описані реально визначеними характеристиками. При підготуванні вихідних даних пружно-пластичного розрахунку необхідні шість основних параметрів кожного шару: питома вага γ , модуль деформації E , коефіцієнт Пуассона ν , кут внутрішнього тертя ϕ , питоме зчеплення c , параметр дилатансії.

Застосування коефіцієнтів надійності по ґрунту лише для параметрів γ , ϕ , c та E при використанні середніх характеристик достатньо, щоб забезпечити необхідну довірчу вірогідність результатів розрахунку.

Розрахунок стійкості схилу проводиться за такою розрахунковою схемою, що передбачає зміну характеристик міцності ґрунту доти, доки схил не перейде в стан граничної рівноваги. При такому підході коефіцієнт стійкості схилу визначається як відношення вихідних характеристик міцності до їхніх граничних значень:

$$K_{sf} = \frac{c + \sigma \cdot \tan \phi}{c_r + \tan \phi_r}, \quad (2)$$

де c і ϕ – вхідні параметри міцності, σ – нормальна складова фактичного напруження. Параметри c_r і ϕ_r – параметри приведеної міцності, за яких забезпечується стійкість схилу. У такому підході зчеплення й тангенс кута внутрішнього тертя приводяться в такий же пропорції:

$$\frac{c}{c_r} = \frac{\tan \phi}{\tan \phi_r} = \sum M_{sf}. \quad (3)$$

Приведення параметрів міцності контролюється загальним множником $\sum M_{sf}$. Цей параметр збільшується при поетапному методі доти, поки не відбудеться руйнування. Потім коефіцієнт надійності визначається як значення $\sum M_{sf}$ при руйнуванні, за умови, що при руйнуванні маємо більш-менш постійне значення для числа послідовних ітерацій.

Розрахунок стійкості схилу в районі селища Градизьк Глобинського району Полтавської області виконаний для визначення безпечної відстані від підніжжя схилу для проведення берегоукріплювальних робіт. Безпечна відстань у даному випадку визначалася з умови втрати стійкості схилу чи можливих обвалів ґрунту при зволоженні схилу. Тобто зону розміщення робітників та механізмів для влаштування берегоукріплювальних конструкцій необхідно розміщувати на такій відстані від підніжжя схилу, яка б забезпечила їх безпечну роботу та експлуатацію при можливому виникненні обвалів чи зсувів.

На момент проведення даної роботи на схилі спостерігались зсувні явища та обвали ґрунту з переміщенням масивів ґрунту на відстань 3–5 м від підніжжя. Проте при несприятливому поєднанні деяких факторів масив ґрунтів, що обмежений схилом, може перейти у неурівноважений стан та втратити стійкість. При цьому переміщення ґрунту може відбутися на більшу відстань.

Основними причинами втрати стійкості є:

- влаштування недопустимо крутого укосу чи підрізання схилу, що знаходиться в стані, близькому до граничного;
- збільшення зовнішнього навантаження (зведення споруд, складування матеріалів тощо);
- зміна напружено-деформованого стану (збільшення питомої ваги ґрунту при збільшенні його вологості чи навпаки, вплив виважуючої дії води на ґрунти);

- зниження розрахункових характеристик міцності ґрунту та його опору зрушенню внаслідок його зволоження;
- прояв гідродинамічного тиску, сейсмічних сил та різного роду динамічних дій (рух транспорту, забивання паль тощо).

В рамках проведення роботи було виконано розрахунок схилу, що розташований в районі селища Градизьк Глобинського району Полтавської області за 12 профілями. Розрахункова схема включає область перерізу схилу із відповідними нашаруваннями ґрунтів та граничними умовами. Як приклад на рис. 4 представлена розрахункова схема поперечного профілю ПП-5, з розбиттям сіткою скінчених елементів.

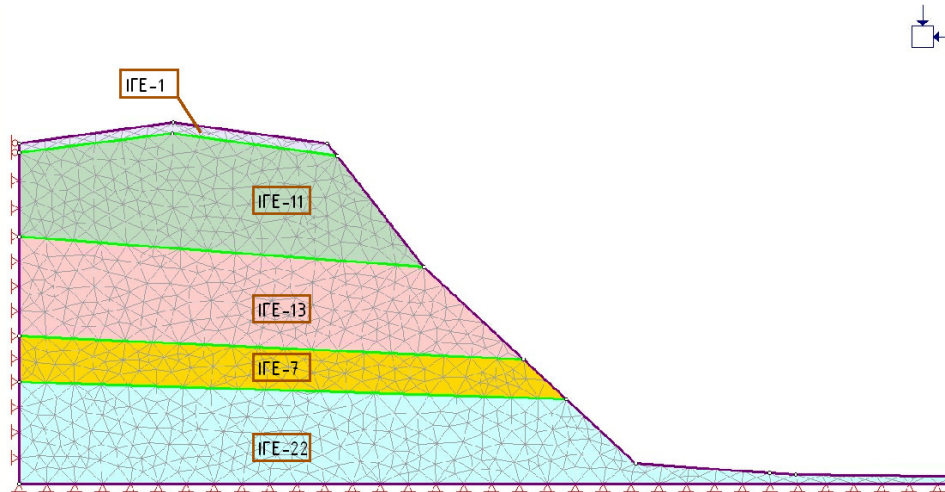


Рис. 4. Розрахункова схема профілю ПП-5

На рис. 5 представлена деформована розрахункова схема, отримана для випадку зсуву мас ґрунту при коефіцієнті стійкості $K_{st} = 1,0$, яка дає можливість визначити відстань переміщення ґрунту у прибережній зоні.

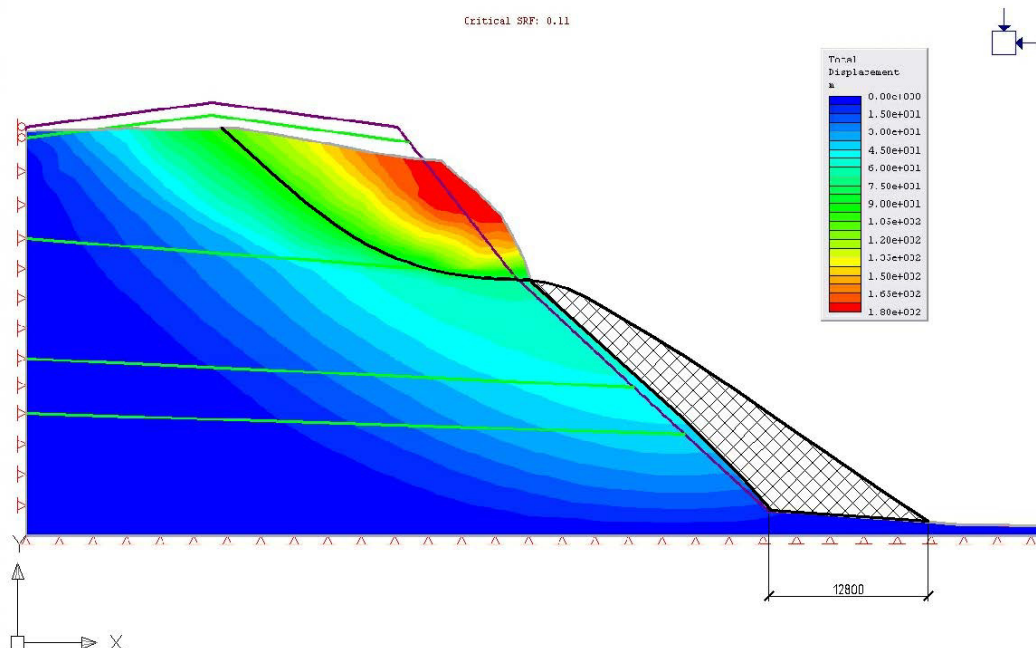


Рис. 5. Переміщення мас ґрунту у результаті зсуву (профіль ПП-5)

Результати розрахунків по всіх профілях представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Значення стійкості схилу та максимальні переміщення масиву ґрунту від його підніжжя

Номер поперечного профілю	Коефіцієнт стійкості схилу у критичному стані, K_{st}	Максимальні переміщення масиву ґрунту від підніжжя схилу при коефіцієнті стійкості схилу $K_{st}=1,0$, м
ПП-1	0,23	25,8
ПП-2	0,10	12,4
ПП-3	0,17	12,8
ПП-4	0,18	12,0
ПП-5	0,11	12,8
ПП-6	0,19	7,2
ПП-7	0,12	10,6
ПП-8	0,12	15,1
ПП-9	0,09	6,8
ПП-10	0,14	11,2
ПП-11	0,14	9,0
ПП-12	0,23	22,7

Критичні значення коефіцієнту стійкості по розрізах схилу значно менші одиниці, що свідчить про аварійний стан даного схилу.

Таким чином в результаті проведених розрахунків за 12 розрахунковими схемами, що відповідають 12-ти профілям схилу отримані наступні дані:

- коефіцієнти стійкості схилу;
- найбільш зсувонебезпечні зони за результатами розрахунків по 12 перерізам;
- безпечна відстань від підніжжя схилу для проведення берегоукріплювальних робіт.

На основі вивчення розташування зон з максимальними зсувними напруженнями у перерізах були отримані найбільш вірогідні положення площин ковзання ґрунтів, що складають схил.

Висновки

У результаті проведених досліджень можна зробити такі основні висновки:

1. У геологічній будові ділянки схилу простежуються відклади четвертинної та палеогенової систем. Відклади четвертинної системи складаються комплексом алювіальних піщано-глинистих відкладів, представлених суглинками та глинами четвертинного віку льодовикового, еолово-делювіального походження, загальною потужністю 25–30 м. Підстилаються четвертинні відклади зеленувато-сірими і світло-блакитними мергелями київської світи, потужністю більш ніж 46 м. У нижній частині схилу, де проектується берегоукріплення, процесами акумуляції наносів водосховища утворилася обмілина, яка складена пісками потужністю 4–10 м.

2. У процесі рекогносцировки ділянки схилу візуально встановлено, що його слід класифікувати відповідно до ДБН В.1.1-46:2017 [3] як зсувний. Про це свідчать численні заколи, місцеві відділення окремих стовпів ґрунту. У підніжжі схилу спостерігаються масивні брили продуктів руйнування, які ще не розмиті водою, це підтверджує безперервність процесу руйнування схилу і, внаслідок цього, велику небезпеку при знаходження в зоні дії зсуву людей і будівельної техніки.

3. Відповідно до технічного завдання замовника необхідно забезпечити безпечне проведення будівельних робіт з укріплення берегів водосховища у конкретних умовах. Для цього необхідно було визначити зону у підніжжя схилу, на площу якої вірогідно обвалення гірських порід внаслідок зсувних процесів.

4. Розташування небезпечної зони, у межах якої можливі зрушення і обвали гірських порід схилу, визначено шляхом математичного моделювання зсувних процесів схилу за допомогою програмного комплексу Plaxis, який використовує дискретну модель для моделювання

нелінійної, реологічної поведінки ґрунту. В розрахунках використані скінчені елементи трикутної форми. Компоненти напружень визначались тільки в центрах континуальних скінчених елементів, що моделюють ґрунт, переміщення – у вузлах сітки.

5. У результаті проведених досліджень на топографічній основі побудовано схему ділянки схилу берегу водосховища з визначенням на ній зони небезпеки, у межах якої можливі обвалення ґрунтів. У цій зоні заборонено перебування людей та усіх технічних засобів за виключенням тих, за допомогою яких в автоматичному режимі ведуться спостереження за станом схилу.

Список використаної літератури

1. Географічна енциклопедія України: у 3 т / редкол.: О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. К.: «Українська Радянська Енциклопедія» імені М. П. Бажана, 1989–1993.
2. Укріплення берега Кременчуцького водосховища біля с.м.т. Градизьк. Робочий проект. Гідрографічні роботи та інженерно-геологічні умови. 1035. 2/3 ТІ. Харківське відділення інституту «Гідропроект». 1991.
3. ДБН В.1.1-46:2017 Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення. Київ, 2017. 53 с.
4. ДБН В.1.2-14:2018 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Київ, 2018. 36 с.
5. ДБН В.1.1-45:2017 Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. Київ, 2017. 35 с.
6. ДСТУ Б.В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). Ґрунти. Класифікація. Київ, 1997. 51 с.
7. ДСТУ Б.В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення. Київ, 1997. 31 с.
8. ДСТУ Б.В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. Київ, 1997. 107 с.
9. ДСТУ Б.В.2.1-5-96 (ГОСТ 20522-96). Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань. Київ, 1997. 28 с.

References

1. Heohrafichna entsyklopediia Ukrainy: u 3 t (1989-1993). [Geographical encyclopedia of Ukraine: in 3 volumes]. Redkol.: O. M. Marynych (vidpovid. red.) ta in. K.: «Ukrainska Radianska Entsyklopediia» imeni M. P. Bazhana [in Ukrainian]
2. Ukriplennia bereha Kremenchutskoho vodoskhovysheha bilia s.m.t. Hradyzk. Robochyi proekt. Hidrografichni roboty ta inzhenerno-heolohichni umovy (1991). [Fortification of the shore of the Kremenchug Reservoir near the village of Hradizik Working project. Hydrographic works and engineering and geological conditions]. 1035 2/3 . TI. Kharkivske viddilennia instytutu «Hidroproekt» [in Ukrainian]
3. DBN V.1.1-46:2017 Inzhenernyi zakhyst terytorii, budivel i sporud vid zsuviv ta obvaliv. Osnovni polozhennia (2017). [DBN V.1.1-46:2017 Engineering protection of territories, buildings and structures against landslides and collapses. Substantive provisions]. Kyiv. 53 s. [in Ukrainian]
4. DBN V.1.2-14:2018 Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh obiektiv. Zahalni pryntsyipy zabezpechennia nadiinosti ta konstruktyvnoi bezpeky budivel i sporud (2018). [DBN V.1.2-14:2018 System for ensuring the reliability and safety of construction objects. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures]. Kyiv. 36 s. [in Ukrainian]
5. DBN V.1.1-45:2017 Budivli i sporudy v skladnykh inzhenerno-heolohichnykh umovakh. Zahalni polozhennia (2017). [DBN V.1.1-45:2017 Buildings and structures in difficult engineering and geological conditions. Terms]. Kyiv. 35 s. [in Ukrainian]

6. DSTU B.V.2.1-2-96 (HOST 25100-95). Grunty. Klyasyfikatsiia (1997). [DSTU B.V.2.1-2-96 (GOST 25100-95). Soils. Classification]. Kyiv. 51 s. [in Ukrainian]
7. DSTU B.V.2.1-3-96 (HOST 30416-96). Grunty. Laboratorni vyprobuvannia. Zahalni polozhennia (1997). [DSTU B.V.2.1-3-96 (GOST 30416-96). Soils. Laboratory tests. Terms]. Kyiv. 31 s. [in Ukrainian]
8. DSTU B.V.2.1-4-96 (HOST 12248-96). Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformatyvnosti (1997). [DSTU B.V.2.1-4-96 (GOST 12248-96). Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformability characteristics]. Kyiv. 107 s. [in Ukrainian]
9. DSTU B.V.2.1-5-96 (HOST 20522-96). Grunty. Metody statystychnoi obrobky rezultativ vyprobuvan (1997). [DSTU B.V.2.1-5-96 (GOST 20522-96). Soils. Methods of statistical processing of test results]. Kyiv. 28 s. [in Ukrainian]

Біда Сергій Васильович – к.т.н., доцент, доцент кафедри будівництва та професійної освіти Полтавського державного аграрного університету. E-mail: svbeda1965@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1597-9333.

Зоценко Микола Леонідович – д.т.н., професор, професор кафедри будівельних конструкцій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». E-mail: zotcenco@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-1886-8898.

Павельєва Анна Костянтинівна – к.філол.н., доцент, доцент кафедри германської філології та перекладу Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка». E-mail: kunsite.zi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2306-1928.

Лапін Микола Іванович – к.т.н., начальник технічного відділу управління з капітального будівництва і інфраструктури ТОВ «Єристівський ГЗК». E-mail: lapinnikolaj@outlook.com, ORCID: 0009-0007-7854-3426.

Bida Serhii Vasylovych – Ph.D in Technical Sciences, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Construction and Professional Education of Poltava State Agrarian University. E-mail: svbeda1965@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1597-9333.

Zotsenko Mykola Leonidovych – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Department of Building Structures of the National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”. E-mail: zotcenco@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-1886-8898.

Pavelieva Anna Kostyantynovna – Ph.D in Philology, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Germanic Philology and Translation of the National University “Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic”. E-mail: kunsite.zi@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2306-1928.

Lapin Mykola Ivanovych – Ph.D in Technical Sciences, Head of the Technical Department of the Capital Construction and Infrastructure Department at Yeristovo Mining and Processing Plant LLC. E-mail: lapinnikolaj@outlook.com, ORCID: 0009-0007-7854-3426.