

Міністерство освіти і науки України

Херсонський національний технічний університет

ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Т. 4, № 2.2

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 8 від 17 червня 2021 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 Journal Master List,
CiteFactor Academic Scientific Journals, National Library of Ukraine (Vernadsky).

Херсон 2021

Редакційна рада

Головний редактор

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедри вищої математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету.

Заступники головного редактора

Розов Ю.Г.

д.т.н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, перший проректор Херсонського національного технічного університету.

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 фіз.-мат. дисциплін Херсонської філії Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова.

Відповідальний секретар

Омельчук А.А.

к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних управляючих та обчислювальних систем Університету державної фіскальної служби України (Ірпінь).

Члени редакційної колегії за спеціальностями:

Іноземні фахівці

Бабічев С.А.

д.т.н., доцент, (Чехія)

Гучек П.Й.

д.т.н., доцент, (Польща)

113 – Прикладна математика

Андрейцев А.Ю.

к.ф.-м.н., доцент

Астіоненко І.О.

к.ф.-м.н., доцент

Гвоздева І.М.

д.т.н., професор

Гнатушенко Вікт.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
Найдиш А.В.	д.т.н., професор
Несвідомін В.М.	д.т.н., професор
Пилипака С.Ф.	д.т.н., професор
Тулученко Г.Я.	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
Бардачов Ю.М.	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
Рожков С.О.	д.т.н., професор
Рудакова Г.В.	д.т.н., професор

Інші спеціальності

Дудченко О.М.	к.т.н., професор
Кузьмич В.І.	к.ф.-м.н., доцент
Літвінова М.Б.	д.пед.н., к.ф.-м.н., професор
Мельник І.В.	д.т.н., професор
Розов Ю.Г.	д.т.н., професор

ISSN 2618-0332

Ministry of Education and Science of Ukraine

Kherson National Technical University

APPLIED QUESTIONS OF MATHEMATICAL MODELLING

V. 4, № 2.2

Recommended for publication by the Academic Council of
Kherson National Technical University
(Minutes № 8 on 17th June 2021)

The journal is included in the Register of scientific specialized publications of Ukraine of category B on the basis of Minutes of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated March 17, 2020 № 409.

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

Kherson 2021

Editorial Board

Editor-in-Chief

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Mathematical Modelling of Kherson National Technical University.

Deputies Editor-in-Chief

Rozov Yu.H.

Doctor of Engineering Science, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, First Vice-Rector of Kherson National Technical University.

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 (Mykolaiv).

Litvinenko O.I.

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Technology and Phys.-Math. disciplines of the Kherson branch of the Admiral Makarov National University of Shipbuilding.

Executive Secretary

Omelchuk A.A.

Ph.D., Associate Professor at the Department of Intelligent Control and Computing Systems of University of State Fiscal Service of Ukraine (Irpin).

Members of Editorial Board by specialities:

Foreign Specialists

Babichev S.A.

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

Guchek P.Y.

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

113 – Applied Mathematics

Andreytsev A.Yu.

Ph.D., Associate Professor

Astionenko I.O.

Ph.D., Associate Professor

Hvozdeva I.M.

Doctor of Engineering Science, Professor

Hnatushenko Vikt.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.	Doctor of Engineering Science, Professor
Vanin V.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Virchenko H.A.	Doctor of Engineering Science, Professor
Hnatushenko V.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Humen O.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Korchynskyi V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Lytvynenko V.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Martyn Ye.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Naidysh A.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Nesvidomin V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Pylypaka S.F.	Doctor of Engineering Science, Professor
Tuluchenko H.Ya.	Doctor of Engineering Science, Professor
Ustenko S.A.	Doctor of Engineering Science, Professor
Shoman O.V.	Doctor of Engineering Science, Professor

126 – Information Systems and Technologies

Al-Ammori A.N.	Doctor of Engineering Science, Professor
Baklan I.V.	Ph.D., Associate Professor
Ben A.P.	Ph.D., Associate Professor
Levykin V.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Lytvynenko O.I.	Ph.D., Associate Professor
Moroz B.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Stetsenko I.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Sherstiuk V.H.	Doctor of Engineering Science, Professor

151 – Automation and Computer Integrated Technologies

Aleksieiev M.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Bardachov Yu.M.	Doctor of Engineering Science, Professor
Holovko V.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Kondratets V.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Meshcheriakov L.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Omelchuk A.A.	Ph.D.
Osadchyi S.I.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rozhkov S.O.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rudakova H.V.	Doctor of Engineering Science, Professor

Other Specialties

Dudchenko O.N.	Ph.D., Professor
Kuz'mich V.I.	Ph.D., Associate Professor
Litvinova M.B.	Doctor of Pedagogical Sciences, Ph.D. (physics and mathematics), Professor
Melnyk I.V.	Doctor of Engineering Science, Professor
Rozov Yu.H.	Doctor of Engineering Science, Professor

ЗМІСТ

О.Д. АБРАМОВ, Г.С. АБРАМОВ АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТРЕНДІВ МОРСЬКИХ ВАНТАЖОПЕРЕВЕЗЕНЬ У КРИЗОВИХ УМОВАХ.....	16
А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ, І.В. СМІРНОВ, А.В. ЧОРНИЙ, С.М. МІНАКОВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СФЕРОЇДИЗАЦІЇ ЧАСТИНОК ПОРОШКУ ПЛАЗМОВО-ДУГОВИМ МЕТОДОМ	25
В.Д. БОРИСЕНКО, С.А. УСТЕНКО, І.В. УСТЕНКО АРБЕЛОС І ПОВ'ЯЗАНІ З НИМ КОЛА ...	33
О.О. БРОВАРЕЦЬ, Ю.В. ЧОВНЮК, В.Т. КРАВЧУК, Є.О. ІВАНОВ ЯКІСНИЙ ФРАКТАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДОВГОТРИВАЛИХ ЧАСОВИХ РЯДІВ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ҐРУНТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ: МЕТОДИ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ, ТЕОРІЇ ХАОСУ, ФАЗОВИХ ТРАЄКТОРІЙ	45
В.М. ВЕРЕЩАГА, О.М. ПАВЛЕНКО ТРИРОЗМІРНІ КОМПОЗИЦІЙНІ МАТРИЦІ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄМНИХ ОБ'ЄКТІВ ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ	55
С.І. ГОМЕНЮК, С.М. ГРЕБЕНЮК, Н.І.-В. МАНЬКО, О.Г. СПИЦЯ ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ШТАМПІВ ТА ГУМОВОКОРДНОЇ СМУГИ	64
Т.А. ГРИГОРОВА, В.П. ЛЯШЕНКО, О.О. МОСКАЛЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ	74
О.П. ДЕМ'ЯНЧЕНКО МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОРОЖНИСТОГО ВАЛКА ПРОКАТНОГО СТАНУ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ТЕПЛООБМІНУ НА ПОВЕРХНІ	85
В.В. ДУМАНСЬКА, Ю.В. ДОЦЕНКО, Н.В. СИДОРОВА, Л.М. МАКАРЕНКО ПОКРИТТЯ ІЗ ФЕМ З ОСНОВОЮ ІЗ ПІРАМІДАЛЬНОГО ТА РЕБРИСТИХ ЕЛЕМЕНТІВ	94
Є.С. КОНОНЕНКО КОЛИВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ПІД ДІЄЮ ПЕРІОДИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ З УРАХУВАННЯМ ЕФЕКТИВ ГІДРОПРУЖНОСТІ	102
М.Б. ЛІТВИНОВА, О.Д. ШТАНЬКО, С.О. КАРПОВА, К.О. ЯНОВСЬКА МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОМУ ГЕНЕРАТОРІ, ПРИЗНАЧЕНОМУ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ ПОБУТОВОЇ ОПАЛЮВАЛЬНОЇ ПЕЧІ	113
О.С. МАЗМАНШВІЛІ, Н.В. МОСКАЛЕЦЬ, О.О. ЩЕРБАКОВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЗОБРАЖЕНЬ ЕМІСІЇ РЕЛЯТИВІСТСЬКИХ ЕЛЕКТРОНІВ І МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКУ ФОТОНІВ В КАНАЛІ ВИВОДУ СИНХРОТРОННОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НАКОПИЧУВАЧА "НЕСТОР" ННЦ ХФТІ	120
О.М. МІХАЙЛУЦА, А.В. ПОЖУЄВ, С.О. ВОЛІК АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПРОЦЕДУРНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ТРИВИМІРНОГО ІГРОВОГО КОНТЕНТУ	128
Р.С. МУСІЙ, У.В. ЖИДИК, Н.Б. МЕЛЬНИК, В.К. ШИНДЕР, О.М. М'ЯУС, Р.А. НАКОНЕЧНИЙ ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРІДНІЙ АНІЗОТРОПНІЙ ОБОЛОНЦІ ЗА ЛОКАЛЬНОГО НАГРІВУ	137
Р.С. МУСІЙ, Н.Б. МЕЛЬНИК, А.Й. НАКОНЕЧНИЙ, Л.В. ГОШКО, Б.Й. БАНДИРСЬКИЙ ВИЗНАЧЕННЯ І АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СУЦІЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОЇ КУЛІ ЗА КОРОТКОЧАСНОГО ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ	149

О.М. СЕРІКОВА, О.О. СТРЕЛЬНИКОВА, В.І. ГНІТЬКО, А.М. ТОНКОНОЖЕНКО, Л.А. ПІСНЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ В СИСТЕМАХ ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ ІЗ СИСТЕМАМИ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКНИСТИХ ВКЛЮЧЕНЬ	159
О.В. ТУМАШОВА ДЕЯКІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ГНУЧКИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБОЛОНОК	169
Л.А. ФРОЛОВА, Т.С. БУТИРІНА, М.О. САВЧЕНКО, М.К. СУХИЙ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ФОТОКАТАЛІТИЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЬОГО В ПРИСУТНОСТІ МАГНЕТИТУ	177
А.Н. ХОМЧЕНКО, О.І. ЛИТВИНЕНКО, Ю.Г. ТЕНДІТНИЙ, В.О. СТАРЧЕНКО, І.О. АСТІОНЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ 2D-ШАБЛОНІВ ТА КУБАТУР ЯК ЗАДАЧІ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	187
О.В. ЧОПОРОВА, С.В. ЧОПОРОВ, А.О. ЛІСНЯК ВИКОРИСТАННЯ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КРУГЛОЇ ПЛАСТИНКИ	196

СОДЕРЖАНИЕ

А.Д. АБРАМОВ, Г.С. АБРАМОВ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТРЕНДОВ МОРСКИХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В КРИЗИСНЫХ УСЛОВИЯХ	16
А.Ю. АНДРЕЙЦЕВ, И.В. СМИРНОВ, А.В. ЧОРНЫЙ, С.М. МИНАКОВ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СФЕРОИДИЗАЦИИ ЧАСТИЦ ПОРОШКА ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫМ МЕТОДОМ	25
В.Д. БОРИСЕНКО, С.А. УСТЕНКО, И.В. УСТЕНКО АРБЕЛОС И СВЯЗАННЫЕ С НИМ ОКРУЖНОСТИ	33
А.А. БРОВАРЕЦ, Ю.В. ЧОВНЮК, В.Т. КРАВЧУК, Е.А. ИВАНОВ КАЧЕСТВЕННЫЙ ФРАКТАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДЛИТЕЛЬНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ГРУНТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДНАЗНАЧЕНИЯ: МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ДИНАМИКИ, ТЕОРИИ ХАОСА, ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ	45
В.М. ВЕРЕЩАГА, А.М. ПАВЛЕНКО ТРЁХРАЗМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТРИЦЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕМНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ	55
С.И. ГОМЕНЮК, С.Н. ГРЕБЕНЮК, Н.И.-В. МАНЬКО, О.Г. СПИЦА ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ШТАМПОВ И РЕЗИНОКОРДНОЙ ПОЛОСЫ	64
Т.А. ГРИГОРОВА, В.П. ЛЯШЕНКО, А.А. МОСКАЛЕНКО ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПОИСКА ИНФОРМАЦИИ	74
О.П. ДЕМЬЯНЧЕНКО МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОЛОГО ВАЛКА ПРОКАТНОГО СТАНА С РАЗНЫМИ УСЛОВИЯМИ ТЕПЛООБМЕНА НА ПОВЕРХНОСТИ	85
В.В. ДУМАНСКАЯ, Ю.В. ДОЦЕНКО, Н.В. СИДОРОВА, Л.Н. МАКАРЕНКО ПОКРЫТИЯ ИЗ ФЭМ С ОСНОВАНИЕМ ИЗ ПИРАМИДАЛЬНОГО И РЕБРИСТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	94
Е.С. КОНОНЕНКО КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПЕРИОДИЧЕСКИХ НАГРУЗОК С УЧЕТОМ ЭФФЕКТОВ ГИДРОУПРУГОСТИ	102
М.Б. ЛИТВИНОВА, А.Д. ШТАНЬКО, С.О. КАРПОВА, К.А. ЯНОВСЬКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ГЕНЕРАТОРЕ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОМ ДЛЯ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ БЫТОВОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ ...	113
А.С. МАЗМАНИШВИЛИ, Н.В. МОСКАЛЕЦ, А.А. ЩЕРБАКОВ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЭМИССИИ РЕЛЯТИВИСТСКИХ ЭЛЕКТРОНОВ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОКА ФОТОНОВ В КАНАЛЕ ВЫВОДА СИНХРОТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НАКОПИТЕЛЯ "НЕСТОР" ННЦ ХФТИ	120
Е.Н. МИХАЙЛУЦА, А.В. ПОЖУЕВ, С.А. ВОЛИК АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОЦЕДУРНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ТРЕХМЕРНОГО ИГРОВОГО КОНТЕНТА	128
Р.С. МУСИЙ, У.В. ЖИДИК, Н.Б. МЕЛЬНИК, В.К. ШИНДЕР, О.Н. МЯУС, Р.А. НАКОНЕЧНЫЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНОЙ АНИЗОТРОПНОЙ ОБОЛОЧКЕ ПРИ ЛОКАЛЬНОМ НАГРЕВЕ	137
Р.С. МУСИЙ, Н.Б. МЕЛЬНИК, А.И. НАКОНЕЧНЫЙ, Л.В. ГОШКО, Б.И. БАНДЫРСКИЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ СПЛОШНОГО ЭЛЕКТРОПРОВОДНОГО ШАРА ПРИ КРАТКОВРЕМЕННОМ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ...	149

Е.Н. СЕРИКОВА, Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА, В.И. ГНИТЬКО, А.М. ТОНКОНОЖЕНКО, Л.А. ПИСНЯ НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ С СИСТЕМАМИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ	159
О.В. ТУМАШОВА НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ДЕФОРМАЦИИ ГИБКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК	169
Л.А. ФРОЛОВА, Т.Е. БУТЫРИНА, М.О. САВЧЕНКО, М.К. СУХОЙ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФОТОКАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ МЕТИЛЕНОВОГО СИНЕГО В ПРИСУТСТВИИ МАГНЕТИТА	177
А.Н. ХОМЧЕНКО, Е.И. ЛИТВИНЕНКО, Ю.Г. ТЕНДИТНЫЙ, В.А. СТАРЧЕНКО, И.А. АСТИОНЕНКО МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ 2D-ШАБЛОНОВ И КУБАТУР КАК ЗАДАЧИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА	187
О.В. ЧОПОРОВА, С.В. ЧОПОРОВ, А.А. ЛИСНЯК ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНКИ	196

CONTENTS

A.D. ABRAMOV, G.S. ABRAMOV ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF MARITIME SHIPPING TRENDS IN A CRISIS ENVIRONMENT	16
A.Yu. ANDREYTSEV, I.V. SMYRNOV, A.V. CHORNYI, S.N. MINAKOV MODELING THE PROCESS OF SPHEROIDIZATION POWDER PARTICLES BY THE PLASMA-ARC METHOD	25
V.D. BORISENKO, S.A. USTENKO, I.B. USTENKO ARBELOS AND ASSOCIATED CIRCLES ...	33
A.A. BROVARETS, Y.V. CHOVDNYUK, V.T. KRAVCHYUK, E.A. IVANOV THE QUALITATIVE FRACTAL ANALYSIS OF LONG TERM TIME SERIES FOR AGRICULTURAL SOILS' ELECTRICAL CONDUCTIVITY PARAMETERS: METHODS OF NONLINEAR DYNAMICS, THEORY OF CHAOS, PHASE TRAJECTORIES	45
V.M. VERESHCHAHHA, O.M. PAVLENKO THREE-DIMENSIONAL COMPOSITION MATRIXES AND THEIR APPLICATIONS FOR CREATION OF COMPOSITIONAL GEOMETRIC MODELS OF VOLUME OBJECTS OF ANY ARBITRARY FORM	55
S.I. HOMENYUK, S.M. GREBENYUK, N.I.-V. MANKO, O.G. SPYTSIA NUMERICAL MODELLING OF CONTACT INTERACTION STAMPS AND RUBBER-CORD STRIP	64
T.A. HRYHOROVA, V.P. LYASHENKO, O.O. MOSKALENKO RESEARCH OF MACHINE LEARNING METHODS FOR SEARCH INFORMATION.....	74
O. DEMYANCHENKO MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE FIELD OF A HOLLOW ROLL OF ROLLING MILL WITH DIFFERENT CONDITIONS HEAT EXCHANGE ON THE SURFACE ..	85
V.V. DUMANSKA, JU.V. DOTSENKO, N.V. SYDOROVA, L.M. MAKARENKO PAVEMENTS OF FPE WITH UNDERSIDE SURFACE OF PYRAMIDAL AND RIBBED ELEMENTS	94
Y. KONONENKO VIBRATIONS OF STRUCTURE ELEMENTS UNDER PERIODIC LOADS WITH FLUID-STRUCTURE INTERACTION EFFECTS	102
M.B. LITVINOVA, O.D. SHTANKO, S.O. KARPOVA, K.A. YANOVSKA THE MATHEMATICAL MODEL OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN THERMOELECTRIC GENERATOR DESIGNED FOR RECOVERY OF ENERGY OF DOMESTIC HEATING OVEN	113
A.S. MAZMANISHVILI, N.V. MOSKALETS, A.A. SHCHERBAKOV TRANSFORMATION OF THE EMISSION OF RELATIVISTIC ELECTRONS AND METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE PHOTON FLUX IN THE SYNCHROTRON RADIATION OUTLET OF "NESTOR" STORAGE RING NSC KIPT	120
O.M. MIKHAILUTSA, A.V. POZHUYEV, S.A. WOLIK ANALYSIS OF PROCEDURAL GENERATION METHODS FOR 3D GAME CONTENT	128
R.S. MUSII, U.V. ZHYDYK, N.B. MELNYK, V.K. SHYNDER, O.M. MYAUS, R.A. NAKONECHNYI DETERMINATION AND ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELD IN INHOMOGENEOUS ANISOTROPIC COVER UNDER LOCAL HEATING	137
R.S. MUSII, N.B. MELNYK, A.J. NAKONECHNYI, L.V. GOSHKO, B.Y. BANDYRSKYI DETERMINATION AND ANALYSIS OF THE TEMPERATURE FIELD OF A CONTINUOUS ELECTRICALLY CONDUCTIVE BALL WITH SHORT-TERM INDUCTION HEATING	149

O.M. SIERIKOVA, O.O. STRELNIKOVA, V.I. GNITKO, A.M. TONKONozHENKO, L.A. PISNIA NEUTRALIZATION OF STATIC ELECTRICITY IN OIL STORAGE SYSTEMS THROUGH APPLICATION OF NANOCOMPOSITES WITH CARBON FIBER INCLUSIONS	159
O.V. TUMASHOVA SOME GOING IS NEAR RESEARCH OF DEFORMATION OF FLEXIBLE CYLINDRICAL SHELLS	169
L.A. FROLOVA, T.E. BUTYRINA, M.O. SAVCHENKO, M.K. SUKHYY DETERMINATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF PHOTOCATALYTIC DESTRUCTION OF METHYLENE BLUE IN THE PRESENCE OF MAGNETITE	177
A.N. KHOMCHENKO, O.I. LYTVYNENKO, Yu.G. TENDITNYI, V.O. STARCHENKO, I.O. ASTIONENKO MODELLING OF COMPUTATIONAL 2D-TEMPLATES AND CUBATURES AS THE PROBLEMS OF SYSTEM ANALYSIS	187
O.V. CHOPOROVA, S.V. CHOPOROV, A.O. LISNIAK USING MACHINE LEARNING TO PREDICT THE STRESS-STRAIN STATE OF A CIRCULAR PLATE	196

УДК 539.3

О.М. СЕРІКОВА

Національний університет цивільного захисту України

О.О. СТРЕЛЬНИКОВА, В.І. ГНІТЬКО

Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України

А.М. ТОНКОНОЖЕНКО

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»

Л.А. ПІСНЯ

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,

НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ В СИСТЕМАХ ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ НАНОКОМПОЗИТІВ ІЗ СИСТЕМАМИ ВУГЛЕЦЕВИХ ВОЛОКНИСТИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Найважливішою на сьогоднішній день залишається проблема забезпечення надійності експлуатації та безаварійності роботи систем зберігання нафти. Однією з основних причин виникнення вибухів і пожеж в нафтоосховищах (резервуарах) є заряди статичної електрики, що утворюються в трубопроводі в процесі транспортування нафти. В результаті вносяться разом з нафтою в резервуар електростатичні заряди, що створюють електричне поле і, відповідно, умови для виникнення іскрового пробоя газового простору над поверхнею нафти. Розряди статичної електрики в легкозаймистих середовищах можуть ставати причиною вибухів і пожеж. Важливим є створення нового гібридного нанокompозиту, що ефективно екранує від електромагнітних полів, має високу електропровідність та є механічно міцним. В роботі досліджено властивості композитів та нанокompозитів із невпорядкованими та впорядкованими системами вуглецевих волокнистих включень, що можуть використовуватись для нейтралізації статичних електричних зарядів, які виникають в нафтоосховищах та можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій. Досліджено серію нанокompозитних матеріалів на основі епоксидної матриці з вуглецевими наповнювачами різного способу розміщення. За допомогою програмного комплексу знайдено і досліджено залежність міцнісних характеристик нанокompозитного матеріалу від способу розміщення вуглецевих нанонаповнювачів, а також рівня заповнення матриці включеннями. Встановлено, що застосування наповнювача у вигляді вуглецевих волокон демонструє зростання міцнісних характеристик матеріалу в напрямку волокон. Повне структуроване впорядкування нановолокон ще більше підвищує міцнісні властивості в головному напрямку розташування волокон, однак несуттєво знижує міцнісні характеристики в двох інших напрямках. Результати досліджень доводять, що застосування вуглецевих нановолокон для створення якісного нанокompозиту є доцільним та його можливо використовувати для нейтралізації статичних електричних зарядів, які виникають в нафтоосховищах та можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, екологічна безпека, техногенний об'єкт, резервуари, нафтоосховище, нанокompозит, вуглецеві волокнисті включення.

Е.Н. СЕРІКОВА

Национальный университет гражданской защиты Украины

Е.А. СТРЕЛЬНИКОВА, В.И. ГНІТЬКО

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

А.М. ТОНКОНОЖЕНКО

Государственное предприятие Конструкторское бюро «Южное» им. М.К. Янгеля

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ СТАТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА В СИСТЕМАХ ХРАНЕНИЯ НЕФТИ ПУТЕМ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОКОМПОЗИТОВ С СИСТЕМАМИ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКНИСТЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Важнейшей на сегодняшний день остается проблема обеспечения надежности эксплуатации и безаварийности работы систем хранения нефти. Одной из основных причин возникновения взрывов и пожаров в нефтехранилищах (резервуарах) являются заряды статического электричества, образующиеся в трубопроводе в процессе транспортировки нефти. В результате вносятся вместе с нефтью в резервуар электростатические заряды, создающие электрическое поле и, соответственно, условия для возникновения искрового пробоя газового пространства над поверхностью нефти. Разряды статического электричества в легковоспламеняющихся средах могут становиться причиной взрывов и пожаров. Важным является создание нового гибридного нанокompозита, который эффективно экранирует от электромагнитных полей, имеет высокую электропроводность и является механически прочным. В работе исследованы

свойства композитов и нанокompозитов с неупорядоченными и упорядоченными системами углеродных волокнистых включений, которые могут использоваться для нейтрализации статических электрических зарядов, которые возникают в нефтехранилищах и могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций. Исследована серия нанокompозитных материалов на основе эпоксидной матрицы с углеродными наполнителями различного способа размещения. С помощью программного комплекса найдена и исследована зависимость прочностных характеристик нанокompозитного материала от способа размещения углеродных нанонаполнителей, а также уровня заполнения матрицы включениями. Установлено, что применение наполнителя в виде углеродных волокон демонстрирует рост прочностных характеристик материала в направлении волокон. Полное структурированное упорядочение нановолокон еще более повышает прочностные свойства в главном направлении расположения волокон, однако несущественно снижает прочностные характеристики в двух других направлениях. Результаты исследований показывают, что применение углеродных нановолокон для создания качественного нанокompозита целесообразно и его можно использовать для нейтрализации статических электрических зарядов, которые возникают в нефтехранилищах и могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, экологическая безопасность, техногенный объект, резервуары, нефтехранилище, нанокompозит, углеродные волокнистые включения.

O.M. SIERIKOVA

National University of Civil Defence of Ukraine

O.O. STRELNIKOVA, V.I. GNITKO

A.M. Pidhorny Institute for Mechanical Engineering Problems NAS of Ukraine

A.M. TONKONOZHENKO

M.K. Yangel Yuzhnoye State Design Office

L.A. PISNIA

Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems

NEUTRALIZATION OF STATIC ELECTRICITY IN OIL STORAGE SYSTEMS THROUGH APPLICATION OF NANOCOMPOSITES WITH CARBON FIBER INCLUSIONS

The crucial issue today is to ensure the reliability of operation and trouble-free operation of oil storage systems. One of the main causes of explosions and fires in oil storage tanks (reservoirs) is the static electricity generated in the pipeline during the oil transportation. As a result, electrostatic charges introduced into the tank together with the oil, creating epy electric field and, respectively, the conditions for the spark breakdown of the gas space above the oil surface. Static electricity discharges in flammable environments could cause explosions and fires. It is important to create the new hybrid nanocomposite that effectively shields from electromagnetic fields, has high electrical conductivity and is mechanically strong. The paper treats the properties of composites and nanocomposites with disordered and ordered systems of carbon fiber inclusions, which could be used to neutralize static electric charges that occur in oil storage and could lead to emergencies. The series of nanocomposite materials based on epoxy matrix with carbon fillers of different placement methods has been studied. The dependence of the strength characteristics of the nanocomposite material on the method of placing carbon nanofillers, as well as the level of filling the matrix with inclusions has been found and investigated with the help of the software package. It has been established that the filler use in the form of carbon fibers demonstrates the growth of material strength characteristics in the direction of the fibers. Complete structured ordering of nanofibers further increases the strength properties in the main direction of the fibers location, but does not significantly reduce the strength characteristics in the other two directions. The results of research prove that the use of carbon nanofibers to create the high-quality nanocomposite is appropriate and could be used to neutralize static electric charges that occur in oil storage and could lead to emergencies.

Keywords: emergency, environmental safety, technogenic object, reservoirs, oil storage, nanocomposite, carbon fiber inclusions.

Постановка проблеми

Резервуари призначені для приймання, зберігання, відпуску, обліку нафти і нафтопродуктів і є відповідальними інженерними конструкціями. Елементи резервуарів в експлуатаційних умовах зазнають значних змін температурних режимів, підвищений тиск, вібрацію, сейсмічні навантаження [1–3], нерівномірні осідання, корозію. Найважливішою

на сьогоднішній день залишається проблема забезпечення надійності експлуатації та безаварійності роботи систем зберігання нафти. Однією з основних причин виникнення вибухів і пожеж в нафтосховищах (резервуарах) є заряди статичної електрики, що утворюються в трубопроводі в процесі транспортування нафти. В результаті вносяться разом з нафтою в резервуар електростатичні заряди, що створюють електричне поле і відповідно умови для виникнення іскрового пробою газового простору над поверхнею нафти. Питання виникнення статичної електрики вимагають ретельних досліджень і обґрунтування впровадження нових конструкцій і матеріалів при транспортуванні і зберіганні нафтопродуктів. Утворення електричних зарядів в нафтопродуктах при їх русі називається електризацією. Електричні заряди, які знаходяться в обсязі або на поверхні нафтопродуктів, називаються електростатичними. Найбільш сильно електризація проявляється при високих швидкостях транспортування по трубах. Значимість процесів накопичення електростатичних зарядів особливо велика, оскільки матеріалами що електризуються є легкозаймисті рідини. Розряди статичної електрики в легкозаймистих середовищах можуть ставати причиною вибухів і пожеж [4].

Існує велика небезпека розрядів статичної електрики і нанесення збитку в нафтовій та нафтопереробній галузях. Тому розробка заходів запобігання і усунення небезпечних проявів статичної електрики є досить актуальною проблемою. З урахуванням підвищення вимог до захисту від статичної електрики у виробництвах хімічної, нафтохімічної та нафтопереробної промисловості, а також з урахуванням зростання обсягу транспортування та зберігання нафти і нафтопродуктів виникає необхідність систематичного дослідження і розробки методів, що знижують інтенсивність електризації нафти і нафтопродуктів.

Як показує статистика і численні дослідні роботи можливе накопичення небезпечних кількостей електростатичних зарядів в резервуарах, що призводить до виникнення напруженості електричного поля, яка перевищує критичну величину 3 кВ / мм в результаті чого створюються умови для іскроутворення і, відповідно, вибуху і пожежі. Тому розробка принципово нових і більш ефективних способів нейтралізації електростатичних зарядів в потоці нафти є важливою науково-технічною задачею.

При оцінці масштабів можливих техногенних небезпек на нафтобазах та нафтосховищах були виділені основні сценарії розвитку аварій:

- найбільш небезпечні: вибух наземного резервуара з нафтою з подальшим займанням, пожежею і повним руйнуванням резервуара;
- найімовірніші: часткове руйнування насосного агрегату, локальні витіки з технологічного обладнання та трубопроводів.

При розвитку аварій за цими сценаріями, можливо займання нафти (нафтопродукту) і пожежа протоки. Основними вражаючими факторами перерахованих аварій є теплове випромінювання, дія ударної хвилі, потрапляння у відкрите полум'я, ураження осколками. При аваріях з найбільш важкими наслідками зони ураження (руйнування) можуть досягати декількох сотень метрів; розмір небезпечних зон при виникненні пожежі розлиття буде обмежений кількома десятками метрів від краю протоки. У разі реалізації розглянутих аварійних ситуацій можливе руйнування суміжного по проммайданчику обладнання. Ця обставина сприяє збільшенню площі зони ураження.

Виникнення статичної електрики може призвести до накопичення дуже великого заряду і, врешті-решт, до розряду у вигляді іскри, що в пожежонебезпечному і тим більше у вибухонебезпечному середовищі може бути причиною пожежі (вибуху), так як для займання вибухонебезпечної суміші парів легкозаймистих речовин з повітрям досить різниці потенціалів електростатичного заряду в 300-500 В [5].

Метою дослідження є підвищення екологічної безпеки систем зберігання нафти шляхом ефективною нейтралізації статичної електрики із застосуванням композитів та нанокompозитів із невпорядкованими та впорядкованими системами волокнистих включень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Компанія Hyperion Catalyst (Кембридж, США) удосконалила метод отримання нанотрубок і сьогодні 60% американських автомобілів оснащені бензопроводами, що містять вуглецеві нанотрубки. За рахунок своєї високої електропровідності вони нейтралізують статичні заряди, які можуть породити іскру в бензопроводі. Сьогодні нанотрубки активно впроваджують і в тару - наприклад в коробки для перевезення мікросхем. Вони оберігають електронні пристрої від механічних пошкоджень, знімають електростатичні заряди здатні зіпсувати чіпи [6].

Введення нанотрубок в якості наповнювача надає деяким композиційним матеріалам електропровідності та інших важливих властивостей. Електропровідні пластики можуть знайти найширше застосування в аерокосмічній техніці, наприклад в якості сигнальних дротів, пристроїв захисту від розрядів статичної електрики, для створення різноманітних приводів і гнучких електричних схем. Так звані багатофункціональні полімерні матеріали можуть бути використані при виготовленні ракетних двигунів, динамічних в просторі конструкцій, а також при виробництві багатьох стандартних предметів армійського обладнання (наприклад, резервуарів, шин тощо) [7].

В останні роки вдосконалені композити на полімерній основі або нанокompозити є переважними структурними складовими для літальних апаратів завдяки своїй невеликій вазі та порівняним механічним властивостям, але такі композиційні системи не забезпечують низького опору для потоку заряду і згодом вразливі до впливу удару блискавки і опадів [8].

Поява нанотехнологій у галузі полімерних композитів продемонструвала здатність обходити поширеність такого статичного накопичення заряду і одночасно забезпечує синергетичну особливість полімеру та нанокompозиту [9]. Хоча полімери мають природні ізоляційні властивості, але різні наноаповнювачі, такі як сажа, вуглецеве волокно, 1-н тетрадецил-3-метилімідазоліумбромід, металеві частинки та нановолокна, такі як поліанілін [8], продемонстрували значне збільшення провідності що перевищує поріг ізоляції. Хоча детальна оцінка композиційних або нанокompозитних матеріалів для аерокосмічних досліджень широко використовувалась [8], але використання таких матеріалів для обходу явища статичного заряду в структурно-космічному застосуванні було найменш досліджено у формі огляду.

В роботі Ваг та Silverman [10] показано використання різних наночастинок та його дослідження для різних авіонічних застосувань. У контексті зменшення статичного заряду в авіонічному композиті вбудовані наповнювачі в полімері іноді називають антистатичними агентами і, в основному, класифікують на основі їх модельного складу та хімічної структури [8]. Pionteck та Вуруч продемонстрували, що антистатичні агенти в режимі їх застосування можуть бути відчужені на внутрішні та зовнішні антистатичні агенти, де зовнішні нанесені фрагменти є поверхнево-активними іонними або неоніонними, тоді як внутрішньо активні агенти використовуються для розвитку провідних шляхів у полімерних матеріалах за допомогою армування [8].

Вуглецеві антистатичні агенти, такі як графен, вуглецеві нанотрубки (багатостінні вуглецеві нанотрубки та одностінні вуглецеві нанотрубки), вуглецеві нановолокна та оксид графена широко застосовуються для зменшення накопичення статичного заряду на полімерній поверхні [11].

Інші автори [8] продемонстрували, що відстань зазору між частинками відіграє суттєву роль у кінцевій об'ємній провідності зразка. Повідомляється, що збільшення концентрації наповнювача зменшує відстань між частинками заповнювача, що, в свою чергу, збільшує щільність зшивання, а це призводить до збільшення композитної провідності [8].

Відоме використання як екрануючих матеріалів електропровідних покриттів на полімерах або інших діелектриках. Однак, вони можуть відшаровуватися або

розтріскуватися при навантаженнях. Ця проблема може бути вирішена при використанні нанокомпозитів полімерів з електропровідними наповнювачами [12]. Разом з тим, у випадку мікронорозмірних наповнювачів (металеві та вуглецеві волокна і частки, сажа тощо) для досягнення достатньої електропровідності композиту потрібно використовувати високі наповнення до 16 об.% [12]. Як наслідок, при цьому погіршуються механічні характеристики матеріалу. Для розв'язання цієї проблеми запропоновано нанорозмірні електропровідні наповнювачі, наприклад вуглецеві нанотрубки, що забезпечують високу провідність і міцність матеріалу навіть при низькому вмісті вуглецевих нанотрубок [13].

Важливим є створення нового гібридного нанокомпозиту, що ефективно екранує від електромагнітних полів у широкому частотному діапазоні 10 МГц - 20 ГГц, має високу електропровідність та є механічно міцним. Тому в роботі досліджено властивості композитів та нанокомпозитів із невпорядкованими та впорядкованими системами вуглецевих волокнистих включень, що можуть використовуватись для нейтралізації статичних електричних зарядів, які виникають в нафтохранилищах та можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій [13].

Викладення основного матеріалу дослідження

Метод скінченних елементів при дослідженні композитів та нанокомпозитів із невпорядкованими та впорядкованими системами включень

Розроблені в [14] математичні та розрахункові моделі на основі МСЕ дозволяють проводити аналіз наноматеріалів із сферичними суцільними або порожнистими включеннями, а також з короткими нановолокнами та нанотрубками.

Досліджено серію нанокомпозитних матеріалів на основі епоксидної матриці з вуглецевими наповнювачами різного засобу розміщення. За допомогою програмного комплексу знайдено і досліджено залежність міцнісних характеристик нанокомпозитного матеріалу від способу розміщення вуглецевих наноаповнювачів, а також рівня заповнення матриці включеннями.

Вважалось, що матриця нанокомпозиту зі затверділої епоксидної смоли має такі анізотропні властивості: густина $\rho_M = 1160 \text{ кг/м}^3$, модуль пружності $E_M = 3,78 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона $\nu_M = 0,35$.

Як матеріал включення, розглянуті вуглецеві наповнювачі з ортотропними властивостями: густина 1800 кг/м^3 , модуль пружності в напрямку OX, $E_1 = 290 \text{ ГПа}$, модуль пружності в напрямку OY, $E_2 = 23 \text{ ГПа}$, модуль пружності в напрямку OZ, $E_3 = 23 \text{ ГПа}$, коефіцієнт Пуассона XY, $\nu_{12} = 0,2$, коефіцієнт Пуассона YZ, $\nu_{23} = 0,4$, коефіцієнт Пуассона XZ, $\nu_{13} = 0,2$, модуль зсуву XY, $G_1 = 9 \text{ ГПа}$, модуль зсуву YZ, $G_2 = 214 \text{ ГПа}$, модуль зсуву XZ, $G_3 = 9 \text{ ГПа}$.

В результаті проведених розрахункових досліджень з використанням методу, розробленого в [15,16] з'ясовані механічні характеристики нових нанокомпозитних матеріалів.

Невпорядковані волокнисті включення

Аналогічно дослідженню матриць з циліндричними включеннями, виконаний аналіз нанокомпозитів з наповнювачем у вигляді частково впорядкованих повздовжніх вуглецевих волокон. Вуглецеві нановолокна розташовані вздовж всієї довжини матриці, мають діаметр 1нм, й максимально допустиме відхилення від головної осі складає 10 градусів. Проаналізовано об'ємну частку включень від 0,025 до 0,25. Розрахункові моделі нанокомпозиту з об'ємною часткою включень, що дорівнює 0,2, подані на рис. 1.

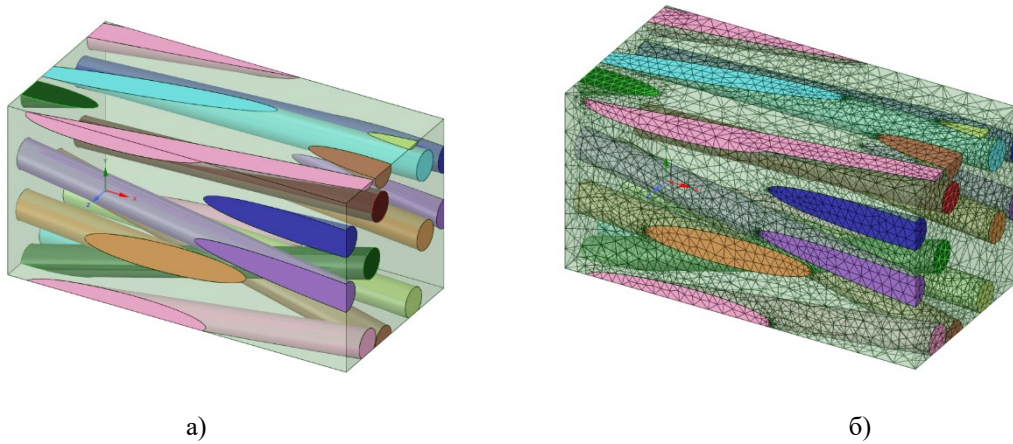


Рис. 1. Представницька комірка (а) і скінченно-елементна (б) модель наноматеріалу з волокнистими частково впорядкованими включеннями

Результати розрахунків подані в таблиці 1, вивчались волокнисті вуглецеві включення однакового розміру й ортотропними властивостями матеріалу.

Таблиця 1. Механічні властивості нанокомпозиту з волокнистими включеннями

Об'ємна частка	0.0259	0.0504	0.0764	0.1002	0.1261	0.1510	0.1791	0.2039	0.2294	0.2525
E_1 , МПа	7815,8	14788	22541	30985	35518	39187	40591	40471	50946	58330
E_2 , МПа	4205,3	4419,4	4621	4780,1	4934,2	5106,1	5378,5	5568,8	5753,8	6301,5
E_3 , МПа	4090,2	4397,9	4589	4791,8	5027,8	5160,1	5398,8	5511,3	5723,5	6012,1
G_{12} , МПа	1483,7	1524,9	1675	1636,7	1870,3	1815,5	1915	1959	2200,6	2385,2
G_{23} , МПа	1447,2	1490,8	1544	1584,5	1629,8	1689,3	1761,7	1814,7	1885,8	1911,8
G_{31} , МПа	1686,4	1576,8	1601	1654,8	1794,2	1838,1	2246,9	2477,5	2340,9	2113,5
ν_{12}	0,3220	0,3382	0,3242	0,3384	0,3900	0,3596	0,3160	0,2549	0,3242	0,3707
ν_{13}	0,4032	0,3623	0,3451	0,3377	0,3218	0,3333	0,4448	0,5065	0,4638	0,3199
ν_{23}	0,4333	0,4775	0,4885	0,4979	0,4876	0,4909	0,4783	0,4785	0,4779	0,4785
Густина	1176	1192	1211	1224	1240	1256	1274	1290	1306	1321

З'ясовано, що застосування включень у вигляді вуглецевих нановолокон демонструє зростання міцнісних характеристик матеріалу в напрямку волокон. За однакову об'ємну частку включень, зміцнення матеріалу волокнами виявилось більш ніж в 10 разів ефективнішим в порівнянні зі зміцненням циліндричними або сферичними включеннями з того ж матеріалу. Крім значного зміцнення, яке характеризується модулем E_1 , відбулося також зміцнення і в інших напрямках, близьке за рівнем у порівнянні з іншими видами включень.

Впорядковані волокнисті включення

Досліджені матриці з наповнювачем у вигляді повздовжніх та впорядкованих за схемою діаманта вуглецевих волокон. Вуглецеві нановолокна розташовані вздовж всієї довжини матриці, мають діаметр 1нм, напрямок волокон співпадає з напрямком однієї з осей координат. Проаналізовано об'ємну частку включень від 0,025 до 0,25. Розрахункові моделі нанокомпозиту з об'ємною часткою включень, рівної 0,2, подані на рис. 2 [17].

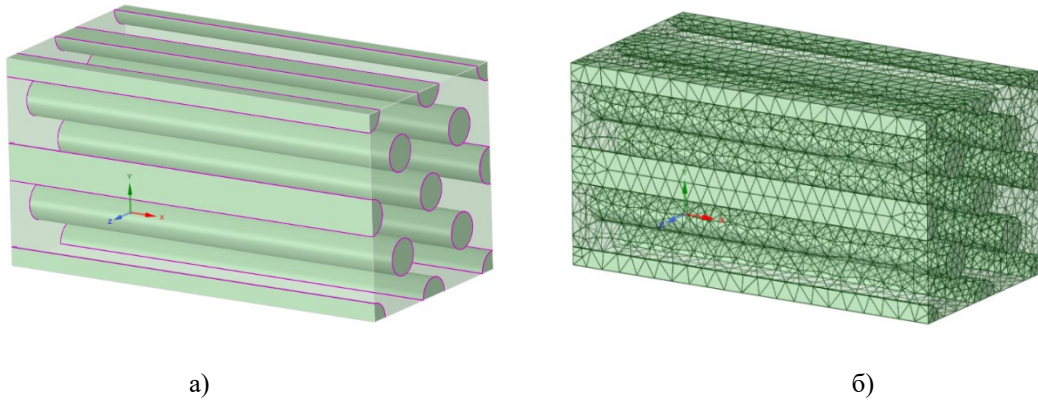


Рис. 2. Представницька комірка (а) і скінченно-елементна (б) модель наноматеріалу з впорядкованими волокнистими включеннями.

Результати дослідження надані в таблиці 2, розрахунки проведено для волокнистих вуглецевих включень однакового розміру, з ортотропними властивостями матеріалу.

Таблиця 2. Механічні властивості нанокомпозиту з волокнистими включеннями

Об'ємна частка	0,025	0,05	0,075	0,1	0,125	0,15	0,175	0,2	0,225	0,25
E_1 , МПа	10935	18095	25252	32404	39561	46719	53875	61033	68190	75347
E_2 , МПа	4228,8	4429,3	4589,9	4739,1	4883,3	5026,3	5169,8	5316,2	5466,5	5621,4
E_3 , МПа	4228,8	4429,3	4589,9	4739,1	4883,3	5026,3	5169,8	5316,2	5466,5	5621,4
G_{12} , МПа	1452,3	1506,5	1562,8	1621,4	1682,3	1745,6	1811,5	1880,3	1952,2	2027,5
G_{23} , МПа	1444,9	1492,8	1544,4	1600,6	1660,5	1724,6	1793	1866,6	1945,9	2030,7
G_{31} , МПа	1452,3	1506,5	1562,8	1621,4	1682,3	1745,6	1811,5	1880,3	1952,2	2027,5
ν_{12}	0,3454	0,341	0,3365	0,3328	0,3278	0,3255	0,3193	0,3151	0,3109	0,3068
ν_{13}	0,3454	0,341	0,3365	0,3321	0,3278	0,3235	0,3193	0,3150	0,3109	0,3068
ν_{23}	0,4649	0,490	0,5004	0,5057	0,5089	0,5110	0,512	0,513	0,5146	0,515
Густина	1,176	1,192	1,208	1,224	1,24	1,256	1,272	1,288	1,304	1,32

Як і в попередньому випадку, застосування наповнювача у вигляді вуглецевих волокон демонструє зростання міцнісних характеристик матеріалу в напрямку волокон. У порівнянні з частково впорядкованими волокнами, повне структуроване впорядкування ще більше підвищило міцнісні властивості в головному напрямку розташування волокон, різниця склала більше 29%, однак знизило міцнісні характеристики в двох інших напрямках на 6-12%. Таким чином, застосування вуглецевих нановолокон дозволяє створити якісний нанокомпозит, що має виражені ортотропні властивості.

Висновки

Встановлено, що застосування наповнювача у вигляді вуглецевих волокон демонструє зростання міцнісних характеристик матеріалу в напрямку волокон. Повне структуроване впорядкування нановолокон ще більше підвищує міцнісні властивості в головному напрямку розташування волокон, однак несуттєво знижує міцнісні характеристики в двох інших напрямках. Результати досліджень доводять, що застосування вуглецевих нановолокон для створення якісного нанокомпозиту є доцільним, і його можливо використовувати для нейтралізації статичних електричних зарядів, які виникають в нафтоховищах та можуть призвести до виникнення надзвичайних ситуацій.

Список використаної літератури

1. Серікова О. М., Стрельнікова О. О. Вплив резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин на навколишнє середовище. *Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції* (м. Суми, 21-24 квіт. 2020 р.). Суми, 2020. С. 238–239.
2. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Пісня Л. А., Крютченко Д. В. Дослідження впливу пікових амплітуд сейсмічного прискорення при землетрусі на техногенні об'єкти. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції УКРНДІЕП* (м. Харків, 14-18 вер. 2020 р.). Харків, 2020. С. 221–223.
3. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Пісня Л. А., Крютченко Д. В. Вплив сейсмічних навантажень на резервуари для збереження отруйних та легкозаймистих рідин. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XVI Міжнародної науково-практичної конференції УКРНДІЕП* (м. Харків, 14-18 вер. 2020 р.). Харків, 2020. С. 217–220.
4. Бобровский С. Л., Яковлев Е. И. Защита от статического электричества в нефтяной промышленности. М. : Недра, 1983. 160 с.
5. Баскаков И. Э., Салтымаков М. С. Исследование пожаровзрывобезопасности при хранении нефтепродуктов. *Проблемы геологии и освоения недр : труды XX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. Т. 2* (Томск, 4-8 апр. 2016 г.). Томск, 2016. С. 887–889.
6. Сухно И. В., Бузько В. Ю. Углеродные нанотрубки. Часть 1. Высокотехнологичные приложения. Краснодар : КубГУ, 2008. 55 с.
7. Альтман Ю. Военные нанотехнологии. Возможности применения и превентивного контроля вооружений. Техносфера /под ред. Андриевского Р. А. Москва, 2008. 2-е изд. 424с.
8. Yadav R., Tirumali M., Wang X., Naebe M, Kandasubramanian B. Polymer composite for antistatic application in aerospace. *Defence Technology*. 2020. Vol.16., Issue 1. P. 107–118. DOI: 10.1016/j.dt.2019.04.008
9. Pramanik S., Hazarika J., Kumar A., Karak N. Castor oil based hyperbranched poly (ester amide) polyaniline nanofiber nanocomposites as antistatic materials. *Ind Eng Chem Res*. 2013. 52 (16). P. 5700–5707.
10. Baur J., Silverman E. Challenges and Opportunities in multifunctional nanocomposite structures for aerospace applications. *MRS Bull*. 2007. **32**. P. 28–34.
11. Huang J. C. Carbon black filled conducting polymers and polymer blends. *Adv Polym Technol: J Polym Proc Inst*. 2002. **21**. P. 299–313.
12. Ravati S., Favis B. D. Low percolation threshold conductive device derived from a fivecomponent polymer blend. *Polymer*. 2010. V. 51. P. 3669–3684.
13. Гібридний електропровідний плівковий нанокompозит для електромагнітного та електростатичного захисту: пат. 99185 Україна: Н05К 9/00, МПК (2015.01). № u 2014 12311, заяв. 17.11.2014; опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10. 5 с.
14. Дегтярьов К. Г. , Гнітько В. І., Стрельнікова О. О., Тонконоженко А. М. Розрахункові моделі для аналізу механічних властивостей тривимірних нанокompозитів на основі методів скінчених та граничних елементів. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2018. № 2. С. 43-54.
15. Karaiev A., Strelnikova E., Axisymmetric polyharmonic spline approximation in the dual reciprocity method. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, 101, p. e201800339. 2021. DOI: 10.1002/zamm.201800339.

16. Gnitko V., Degtyariv K., Karaiev A., Strelnikova E. Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity. *WIT Transactions in Engineering Sciences*. *WIT Press: Southampton and Boston*. 2019. vol. 122. P. 13–25. DOI: 10.2495/BE410021.
17. Sierikova O., Koloskov V., Degtyarev K., Strelnikova O. The Deformable and Strength Characteristics of Nanocomposites Improving. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. 2021. Vol. 1038. P. 144-153.

References

1. Serikova, O. M., & Strelnikova, O. O. (2020). Vpliv rezervuariv dlya zberezheniya otruynih ta legkozaymistih ridin na navkolishne seredovishe. *Suchasni tehnologiyi u promislovomu virobnitstvi: materiali ta programa VII Vseukrayinskoyi naukovu-tehnichnoyi konferentsiyi*. (Sumi, 21-24 kvit. 2020), Sumi, pp. 238–239.
2. Serikova, O. M., Strelnikova, O. O., Pisnya, L. A., & Kryutchenko, D. V. (2020). Doslidzhennya vplivu pikovih amplitud seysmichnogo priskorennya pri zemletrusi na tehnogenni ob'ekti. *Ekologichna bezpeka: problemi i shlyahi virishennya: zb. nauk. statey XVI Mizhnarodnoyi naukovu-praktichnoyi konferentsiyi UKRNDIEP*. (Harkiv, 14-18 ver. 2020), Harkiv, pp. 221–223.
3. Serikova, O. M., Strelnikova, O. O., Pisnya, L. A., & Kryutchenko, D. V. (2020). Vpliv seysmichnih navantazhen na rezervuari dlya zberezheniya otruynih ta legkozaymistih ridin. *Ekologichna bezpeka: problemi i shlyahi virishennya: zb. nauk. statey XVI Mizhnarodnoyi naukovu-praktichnoyi konferentsiyi UKRNDIEP*. (Harkiv, 14-18 ver. 2020), Harkiv, pp. 217–220.
4. Bobrovskiy, S. L., & Yakovlev, E. I. (1983). *Zaschita ot staticheskogo elektrichestva v neftyanoy promyshlennosti*. M.: Nedra.
5. Baskakov, I. E., & Saltyimakov, M. S. (2016). Issledovanie pozharovzryvobezopasnosti pri hranenii nefteproduktov. *Problemy geologii i osvoeniya neдр : trudy XX Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M. A. Usova studentov i molodyih uchenyih, posvyaschennogo 120-letiyu so dnya osnovaniya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. T. 2. (Tomsk, 4-8 apr. 2016 g.), Tomsk, pp 887–889.
6. Suhno, I. V., & Buzko, V. Yu. (2008). *Uglerodnyie nanotrubki. Chast 1. Vysokotehnologichnyie prilozheniya*. Krasnodar: KubGU.
7. Altman, Yu. (2008). *Voennyye nanotehnologii. Vozmozhnosti primeneniya i preventivnogo kontrolya vooruzheniy. Tehnosfera /pod red. Andrievskogo R.A. 2-e izd. Moskva*.
8. Yadav, R., Tirumali, M., Wang, X., & Naebe, M. (2020). Kandasubramanian B. Polymer composite for antistatic application in aerospace. *Defence Technology*. Vol.16., Issue 1, 107–118. DOI: 10.1016/j.dt.2019.04.008.
9. Pramanik, S., Hazarika, J., Kumar, A., & Karak, N. (2013). Castor oil based hyperbranched poly (ester amide) polyaniline nanofiber nanocomposites as antistatic materials. *Ind Eng Chem Res*. 52 (16), 5700–5707.
10. Baur, J., & Silverman, E. (2007). Challenges and Opportunities in multifunctional nanocomposite structures for aerospace applications. *MRS Bull*. **32**, 28–34.
11. Huang J. C. (2002). Carbon black filled conducting polymers and polymer blends. *Adv Polym Technol: J Polym Proc Inst*. **21**, 299–313.
12. Ravati, S., & Favis, B. D. (2010). Low percolation threshold conductive device derived from a fivecomponent polymer blend. *Polymer*. **51**, 3669–3684.
13. Gibridniy elektroprovodniy plivkoviy nanokompozit dlya elektromagnitnogo ta elektrostatchnogo zahistu: pat. 99185 Ukrayina: H05K 9/00, MPK (2015.01). u 2014 12311, zayav. 17.11.2014; opubl. 25.05.2015, byul. 10. 5s.

14. Degtyarov, K. G., Gnitko, V. I., Strelnikova, O. O., & Tonkonozhenko, A. M. (2018). Rozrahunkovi modeli dlya analizu mehanichnih vlastivostey trivimIrnih nanokompozitiv na osnovi metodiv skinchenih ta granichnih elementiv. *Prikladni pitannya matematichnogo modelyuvannya*. **2**, 43–54.
15. Karaiev, A., & Strelnikova, E. (2021). Axisymmetric polyharmonic spline approximation in the dual reciprocity method. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*. 101, p. e201800339. DOI: 10.1002/zamm.201800339.
16. Gnitko, V., Degtyariv, K., Karaiev, A., & Strelnikova, E. (2019). Multi-domain boundary element method for axisymmetric problems in potential theory and linear isotropic elasticity. *WIT Transactions in Engineering Sciences*. WIT Press: Southampton and Boston. **122**, 13–25. DOI: 10.2495/BE410021
17. Sierikova, O., Koloskov, V., Degtyarev, K., & Strelnikova O. (2021). The Deformable and Strength Characteristics of Nanocomposites Improving. *Materials Science Forum*. Trans Tech Publications Ltd, Switzerland. **1038**, 144-153.

Серікова Олена Миколаївна – к.т.н., старший викладач кафедри прикладної механіки та технологій захисту навколишнього середовища Національного університету цивільного захисту України, e-mail: elena.kharkov13@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0354-9720.

Стрельнікова Олена Олександрівна – д.т.н., професор, провідний науковий співробітник зі спеціальності механіка деформівного твердого тіла; Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України; e-mail: elena15@gmx.com; ORCID: 0000-0003-0707-7214.

Гнітько Василій Іванович – к.т.н., старший науковий співробітник; Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України; e-mail: gnitkovi@gmail.com; ORCID: 0000-0003-2475-5486.

Тонконоженко Анатолій Мстиславович – д.т.н., керівник сектору; Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»; e-mail: stcu-yuzhnoye@freemail.dnpr.net ; ORCID: 0000-0002-4721-6345.

Пісня Леонід Андрійович – к.т.н., провідний науковий співробітник Лабораторії оцінки впливу на навколишнє середовище та екологічної експертизи; Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»; e-mail: leonid_pisnya@ukr.net; ORCID: 0000-0002-3603-9412.