

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

МАТЕРІАЛИ V Міжнародної науково-практичної
інтернет-конференції
Розвиток сучасної науки та освіти:
реалії, проблеми якості, інновації

MATERIALS of the V International Scientific and
Practical Internet Conference
The development of modern science and education:
realities, problems of quality, innovations

29-31 травня 2024
May 29-31, 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Інститут професійної освіти НАПН України
Інститут фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова НАН України
Федеральний інститут професійної освіти (ФРН)
Вища технічна школа в Катовіце (Польща)
Люблінська політехніка (Польща)
Європейський інститут безперервної освіти (Словацька Республіка)
Технічний університет Дортмунда (ФРН)
ЗАТ «Національний центр ядерних досліджень» Міністерства транспорту, зв'язку
та високих технологій Азербайджанської республіки
(Азербайджанська Республіка)
Маріямпольська колегія (Литва)

РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ: РЕАЛІЇ, ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ, ІННОВАЦІЇ

МАТЕРІАЛИ

V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ

29-31 травня 2024 року

Запоріжжя – 2024

УДК [001+37]: 001.895] (043.2)
T13

Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації:
матеріали V Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. (м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.) / ТДАТУ; за наук. ред. С. В. Кюрчев, В. О. Радкевич, В. М. Кюрчев та ін.
Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 576 с.

Рекомендовано до друку Вченою радою
Таврійського державного агротехнологічного
університету імені Дмитра Моторного
(протокол №10 від 28.05.2024 р.)

Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Розвиток сучасної науки та освіти: реалії, проблеми якості, інновації» вміщує результати наукових досліджень науковців, наукових співробітників, викладачів, здобувачів різних рівнів вищої освіти, вчителів з актуальних проблем гуманітарних, природничо-математичних і технічних наук. Напрямки роботи конференції: актуальні питання та проблеми фізико-математичних наук; інновації та закономірності розвитку технічних наук; перспективні напрями наукових досліджень з біосистемної агроінженерії, агротехнологій та агроекології; реалізація STEM-освіти: стан, шляхи та перспективи; використання інноваційних технологій в освітньому процесі в умовах сучасних викликів.

Редакційна колегія:

Кюрчев С. В. – доктор технічних наук, професор;

Радкевич В. О. – доктор педагогічних наук, професор, дійсний член (академік) НАПН України;

Кюрчев В. М. – доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, член-кореспондент НААН України, Заслужений працівник освіти України;

Кідалов В. В. – доктор фізико-математичних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України;

Тітова О. А. – доктор педагогічних наук, професор;

Дьоміна Н. А. – кандидат технічних наук, доцент;

Дяденчук А. Ф. – кандидат технічних наук, доцент.

Відповідальність за грамотність, автентичність цитат, достовірність фактів і посилань, зміст тез несуть автори публікацій. Матеріали видані в авторській редакції.

ЗМІСТ

СЕКЦІЯ 1. АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ТА ПРОБЛЕМИ ФІЗИКО- МАТЕМАТИЧНИХ НАУК

Микола Шут, Тарас Січка, Людмила Благодаренко. Впровадження результатів досліджень властивостей полімерних композитів в освітній процес з фізики.....	13
Олексій Капустян, Юлія Федоренко, Дмитро Безущак. Граничні множини імпульсних нескінченновимірних динамічних систем.....	20
Олександр Станжицький, Вікторія Цань. Дослідження дисипативності систем динамічних рівнянь на часових шкалах з малою функцією зернистості.....	24
Ніна Касімова. Розв'язність задачі оптимального керування в коефіцієнтах для нелінійної виродженої параболічної варіаційної нерівності (Solvability Issue for Optimal Control Problem in Coefficients for Non-Linear Degenerate Parabolic Inequality)	29
Фарход Асроров, Олег Перегуда. Інтегральні множини розривних динамічних систем.....	33
Віктор Сорич, Ніна Сорич. Нові можливості знаходження верхніх меж найкращих наближень.....	38
Кирило Бондаренко, Ольга Кічмаренко. Наближений розв'язок задачі оптимального керування для рівняння з похідною хукухари зі швидкоколивними коефіцієнтами на скінченному інтервалі.....	43
Grygoriy Petryna, Andrii Stanzhytskyi. On the Approximation of Stochastic Systems with Delay.....	49
Оксана Федунік -Яремчук. Колмогоровські поперечники класів	51

періодичних функцій багатьох змінних у просторі.....	
Elena Shornikova. Magneto-optics of colloidal nanocrystals.....	56
.....	
Олена Дереза. Розробка керуючої програми обробки деталі «підстава».....	57
Данііл Вічорський. Сплайн інтерлінація та її місце в сучасному науковому просторі.....	63
.....	
Олександр Рапчинський. Математичні моделі протікання та лікування онкологічних хвороб.....	66

СЕКЦІЯ 2. ІННОВАЦІЇ ТА ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ НАУК

Chichek Abbasova, Юрій Бачеріков, Ольга Охріменко, Валерій Кідалов, Володимир Батурін, Олександр Карпенко, Альона Дяденчук, Олександр Коломис, Віктор Стрельчук, Зоя Максименко, Валентина Пономаренко. Формування плівок ZnO на підкладках SiC/porous-Si/Si....	73
Микола М. Ткачук, Олена Зінченко, Андрій Грабовський, Володимир Сєриков, Микола А. Ткачук, Наталя Дьоміна, Ірина Гречка. Варіаційні постановки задачі про контактну взаємодію тіл близької форми.....	79
...	
Євген Гавриленко. Використання системи MASTERCAM при створенні програмного забезпечення токарних верстатів з ЧПУ для виконання допоміжних технологічних операцій.....	84
Альона Дяденчук, Сергій Носань. Моделювання та оптимізація сонячних елементів CdS/CdTe з одношаровими антивідбивними покривами.....	92
..	

Олександр Вершков, Олександр Мацулевич, Олена Дереза. Загальні налаштування системи MASTERCAM для виконання завдань з розробки управляючих програм токарної обробки валів.....	98
Олена Дереза. Розробка керуючої програми обробки деталі типу тіла обертання.....	104
Галина Антонова, Олена Михайленко, Андрій Чаплінський. Методика розробки програмного забезпечення виконання різьбонарізних операцій в системі MASTERCAM з розробкою постпроцесора для верстата з ЧПУ.....	110
Олександр Романюк, Євген Завальнюк. Метод зворотного трасування промені В.....	119
Валерій Кравченко. Моделювання системи варіантів використання ПК автоматизації проектування клинопасових передач.....	125
Валерій Кравченко, Данило Решевський. Моделювання системи аналізу зображень з використанням нейронних мереж.....	129
Олександр Вовк, Сергій Квітка. Збереження роботоздатності трифазних асинхронних двигунів при обриві фази джерела живлення.....	133
Людмила Нечволода, Катерина Крикуненко, Микита Багач. Технічний аналіз фінансових ринків з використанням бібліотеки TA-LIB (technical analysis library)	139
Сергій Квітка, Олександр Вовк. Пристрій захисту групи асинхронних двигунів від теплових перевантажень.....	143
Наталія Євтушенко, Наталія Твердохлєбова. Інноваційні освітні технології системи професійної інженерної освіти.....	148

Тетяна Воробкало, Олексій Воробкало. Моделювання радіотехнічних сигналів та процесів в часовій області в програмі MATHCAD	152
Наталія Кондрат'єва, Вікторія Леонт'єва, Карина Мажай, Геннадій Усатенко, Антон Гусєв. Інструменти візуалізації систем даних складної системи.....	156
Вікторія Леонт'єва, Наталія Кондрат'єва, Василь Свириденко, Геннадій Касапов, Денис Лаур. Розробка веб-сайту на основі фреймворка Laravel для створення форми реєстрації на уявну конференцію..... ...	166
Юлія Олейникова. Керування маркетинговою діяльністю транспортного підприємства в процесі інноваційного розвитку.....	173

СЕКЦІЯ 3. ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З БІОСИСТЕМНОЇ АГРОІНЖЕНЕРІЇ, АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА АГРОЕКОЛОГІЇ

Svitlana Tsekhmistrenko, Volodymyr Bityutsky, Yuliia Melnychenko, Olga Shulko. Harnessing the potential of nanoparticles for innovative green nanotechnologies in agroecology.....	176
Микола Данченко, Данііл Майборода, Олена Данченко. Онтогенетичні особливості вмісту фенольних сполук у вівсі посівному....	181
Олександр Мацулевич, Галина Антонова. Автоматизація процесу проектування робочих поверхонь кулачків верстатів деревопереробної промисловості.....	186
Олександр Мацулевич, Ілля Тетервак. Застосування системи TECHNOLOGI CS для проектування автоматизованої системи ведення технічної документації на підприємстві сільськогосподарського машинобудування.....	192
Олександр Вершков, Галина Антонова. Автоматизована система проектування технологічного оснащення для виготовлення вузлів та агрегатів сільськогосподарських машин.....	199

СЕКЦІЯ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ STEM-ОСВІТИ: СТАН, ШЛЯХИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Регіна Андрюкайтене, Каріна Олексенко, Альона Дяденчук. Інтеграція штучного інтелекту в освітній процес: переваги та етичні аспекти.....	206
Ольга Гулай, Микола Матич. Можливості використання CHATGPT і GEMINI в освітньому процесі.....	211
Володимир Кувачов, Анастасія Коноваленко. 10 етапів дистанційного забезпечення процесу технічної творчості здобувачів вищої освіти з	216

використання інструментів STEM.....

.....

Віталій Ачкан, Юліана Савкіна. Дослідницька діяльність
старшокласників на уроках математики під час війни.....

.....

222

Наталя Дьоміна, Василь Кравець. Спрямованість навчання в контексті
STEM-освіти.....

.....

227

**Сергій Сімченко, Світлана Морозова, Ілона Сімченко, Станіслав
Капінус.** Використання великих мовних моделей в освіті та
дослідницькій діяльності.....

.....

231

Марина Грисенко, Дар'я Іванова. Впровадження STEM-проектів у
вивченні математики: вплив на досягнення учнів.....

.....

237

Наталія Кочаток, Олена Шамралюк. STEM-підхід у підготовці
кваліфікованих робітників.....

.....

240

Альона Дяденчук. Використання Microsoft Excel у підтримці процесу
викладання фізики для здобувачів вищої освіти.....

.....

245

Олександр Мацулевич, Олена Михайленко. Комплексний метод
визначення характеристики кольору по кольоровому контрасту при
вивченні курсу «Графічний дизайн».....

.....

250

Назар Третяк. Застосування технології віддалених робочих столів в
навчальному процесі.....

.....

255

Ольга Зінов'єва. Використання сучасних геоінформаційних систем в
професійній підготовці здобувачів вищої освіти.....

.....

261

Лариса Шинкура. Перспективи використання штучного інтелекту для
покращення викладання математики у фаховому
коледжі.....

265

Лариса Карпенко. Використання QR кодів при викладанні математики

269

в закладах фахової передвищої освіти.....	
.....	
Денис Шалатов. Розвиток продуктивного мислення із застосуванням фокус-прикладу з фізики.....	275
Ігор Жабровець. Основні тенденції впровадження концепції STEM у освітньому процесі.....	280
.....	
Данило Гончаров. Штучний інтелект в освіті.....	284
.....	
Дар'я Кузнєцова. Реалізація дидактичного принципу виховання здорової особистості на уроках математики.....	287
.....	

СЕКЦІЯ 5. ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ В УМОВАХ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ

Валентина Радкевич. Технологічні аспекти розвитку професійної освіти в повоєнний період.....	29
.....	2
Людмила Благодаренко, Сергій Василенко. Використання методів візуалізації в освітньому процесі з фізики як чинник підвищення рівня засвоєння знань.....	29
.....	8
Олександр Радкевич. Перспективи інтеграції штучного інтелекту в процеси оцінювання професійної діяльності педагогів.....	30
.....	3
Олена Тітова. Удосконалення інклюзивної компетентності викладача фахового коледжу в умовах сучасних викликів.....	30
.....	9
Валентина Попова. Соціальний ефект інноваційних технологій у освітньому процесі: вимірювання та оцінювання.....	31
.....	5
Микола Пригодій. Психолого-педагогічні проблеми використання.....	32

цифрових освітніх платформ.....	2
Андрій Гуржій, Микола Пригодій. Аналіз ринку віртуальних навчальних лабораторій.....	32
....	7
Олена Тітова. Інноваційність професійного діяльності педагога: аналіз зарубіжного досвіду	33
.....	2
Людмила Єршова. Особливості соціогуманітарної підготовки майбутніх фахівців для повоєнного відновлення України.....	33
.....	8
Вікторія Кручек. Вплив змішаного навчання на мотивацію здобувачів освіти	34
.....	4
Андрій Каленський. Сучасні педагогічні технології в освітньому процесі екологічної підготовки фахівців аграрної галузі.....	35
.....	0
Віталій Ачкан, Ольга Лихацька. Засоби формування мовленнєвої компетентності старшокласників на уроках математики....	35
.....	5
Анна Остапенко. Характеристики програм самоосвіти для викладачів науково-технічної освіти.....	36
.....	0
Ірина Мося, Петро Лузан. Технологія оцінювання якості підготовки фахівців у коледжах аграрного профілю.....	36
.....	5
Михайло Повідайчик, Оксана Повідайчик. Організація навчання через дослідження в процесі професійної підготовки майбутніх вчителів математики.....	37
.....	0
Оксана Лапа. Розвиток професійних навичок практичного психолога закладу професійної (професійно-технічної) освіти у воєнний час	37
.....	6

Наталія Євтушенко, Ольга Пономаренко, Ольга Сухенко. Application of Digital Technologies in Activity Educational Institutions of Higher Technical Education.....	38
.....	0
Юлія Холодняк. Інформаційні системи та технології в освіті: сучасні тренди та виклики.....	38
.....	4
Олександр Гуменний. Інтеграція інноваційних технологій у навчання токарів: застосування цифрової навчальної платформи.....	38
.....	9
Тетяна Пятничук. Особливості використання кейс-методу у професійній підготовці будівельників.....	39
	3
Олександр Мацулевич. До питань обмеження вільного доступу до інформаційних ресурсів при виконанні лабораторних робіт з комп'ютерних дисциплін.....	39
...	7
Наталя Твердохлєбова, Наталія Євтушенко. Використання інструментів цифровізації при підготовці фахівців галузі «Охорона праці».....	40
	2
Ольга Швай. Дуальна освіта як ефективна форма підвищення якості підготовки майбутніх вчителів математики.....	40
.....	6
Олександр Вершков, Олена Дереза. Актуальні проблеми сучасного виховання студентської молоді.....	41
.....	0
Олександр Мацулевич. Підготовка фахівців з розробки та впровадження автоматизованих систем проектування.....	41
.....	6
Інна Гриценюк. Механізми зворотного зв'язку в консультуванні здобувачів професійної освіти з питань молодіжного підприємництва.....	42
	2
Валерій Кравченко. Моделювання системи оцінки якості самостійної роботи студентів професії комп'ютерні науки в умовах сучасних	42
	8

викликів.....	
.....	
Тетяна Поведа, Руслан Поведа. Колоквіум як інтерактивна форма вивчення навчальних фахових дисциплін в умовах підготовки майбутнього вчителя фізики.....	43
.....	5
Ольга Єршова. M-LEARNING як інструмент онлайн освіти: проблеми та можливості для України.....	44
.....	1
Микола-Олег Єршов. Дошкільна IT-освіта в цифровій гуманістичній педагогіці XXI століття.....	44
.....	6
Наталія Ваніна. Інновації як чинник соціально-економічної ефективності консультування з молодіжного підприємництва.....	45
.....	2
Оксана Субіна. Моніторинг якості змішаного навчання в системі професійної освіти.....	45
.....	8
Олена Пшенична, Геннадій Циммерман, Максим Шпак. До питання коригування складових підготовки майбутніх вчителів інформатики відповідно до викликів сьогодення.....	46
.....	4
Андрій Сабо. Можливі шляхи підвищення долі процедурної складової в інженерній освіті.....	47
.....	1
Андрій Сабо, Сільвія Сабо. Використання інструктивних карток у дистанційному навчанні.....	47
.....	7
Валерій Байдулін. Актуальні питання інформатизації кар'єрного зростання майбутніх спеціалістів та молодих підприємців.....	48
.....	2
Дар'я Вороніна-Пригодій. Підготовки педагогів професійного навчання до використання соціальних медіа.....	48
.....	7

Костянтин Васишин, Ольга Митцева. Математичне моделювання у освітніх програмах студентоцентрованого навчання в Україні.....	49 3
Олександр Макаренко, Тетяна Несторенко, Олександр Несторенко. Сценарії релокації університетів з прифронтових територій в умовах воєнного стану.....	49 9
Алла Ільєнко, Єва Проніна. Внутрішньо-корпоративні комунікації в організації та заходи щодо їх покращення.....	50 4
Ольга Чабаненко. Супервізія як метод професійного зростання педагога.....	50 9
Руслан Шевченко. Інформаційне моделювання як засіб розвитку пізнавальної активності учнів.....	51 3
Сергій Кулешов. Virtual Laboratories in the Process of it Bachelors Training.....	51 8
Данило Сиволап. Сутність професійної культури керівників структурних підрозділів підприємств поштового зв'язку.....	52 2
Кирило Колесников. Використання інформаційних технологій у майбутніх фахівців фізичної культури і спорту до фізкультурно-спортивної реабілітації засобами фітнес-технологій.....	52 8
Ксенія Яцина. Роль куратора у формуванні професійно-ціннісних орієнтацій майбутніх агротехніків.....	53 5
Валентин Гайчук. Інформаційні технології в процесі формування готовності до комунікативної взаємодії майбутніх графічних дизайнерів....	53 8
Антон Лавошник. Аналіз методик формування підприємницької компетентності у слухачів курсів підвищення кваліфікації в центрах	54 3

зайнятості.....	
...	
Юлія Єршова. Соціогуманітарна складова вищої освіти в Україні.....	54 8
Анастасія Слободянік. Стартап-ініціатива зі створення інклюзивних технологічних рішень в умовах сучасних викликів.....	55 3
.....	
Ярослав Мілька. Цифрова гуманітаристика: використання технологій у дослідженні та збереженні культурної спадщини.....	55 8
.....	
Марина Ніколаєнко. Просування творчості студентів у Інстаграмі як складник бренду закладу вищої освіти.....	56 2
.....	
Максим Різник. Використання проєктів як ефективного підходу до викладання інформатики.....	56 7
Іван Лут. Мережа «Інстаграм» як засіб формування і просування екокультури.....	57 0
.....	

УДК 539.3

Микола М. Ткачук, доктор технічних наук, старший дослідник, провідний науковий співробітник кафедри інформаційних технологій та систем колісних і гусеничних машин імені О.О. Морозова, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Олена Зінченко, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Андрій Грабовський, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник, кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Володимир Сєриков, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Микола А. Ткачук, доктор технічних наук, професор, професор кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

Наталя Дьоміна, кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри вищої математики і фізики, Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Запоріжжя, Україна

Ірина Гречка, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна

ВАРІАЦІЙНІ ПОСТАНОВКИ ЗАДАЧІ ПРО КОНТАКТНУ ВЗАЄМОДІЮ ТІЛ БЛИЗЬКОЇ ФОРМИ

Анотація. Пропонується підхід для розв'язання задач контактної взаємодії тіл близької форми, який базується на основі розвитку їх варіаційних постановок і застосовується до аналізу контактної взаємодії елементів широкої множини конструкцій. На початковому етапі розв'язання залучається модель контакту гладких тіл довільної форми. При застосуванні апарату теорії варіаційних

нерівностей поставлена задача зводиться до проблеми мінімізації функціоналу повної енергії системи деформівних тіл на множині пружних переміщень, які задовольняють умовам непроникнення контактуючих тіл одне в одного.

Ключові слова: контактна взаємодія, тіла близької форми, умови непроникнення контактуючих тіл, теорія варіаційних нерівностей, функціонал повної енергії, система деформівних тіл

Abstract. An approach for solving the problems of contact interaction of similar shaped bodies is proposed, which is based on the development of their variation positions and is applied to the analysis of the contact interaction of elements in a wide variety of structures. At the initial stage of the solution, the contact model of smooth bodies of arbitrary shape is involved. When applying the apparatus of the variational inequalities theory, the given task is reduced to the problem of minimizing the functional of the total energy of the system of deformable bodies for a set of elastic movements that satisfy the conditions of non-penetration of contacting bodies into each other.

Keywords: contact interaction, similar-shaped bodies, conditions of impenetrability of contacting bodies, variational inequalities theory, total energy functional, system of deformable bodies

Машинобудівні конструкції у багатьох випадках мають у своєму складі велику кількість елементів, які передають між собою потужність шляхом механічного контакту. Почасти ці спряжені елементи при взаємному русі під навантаженням номінально контактують або уздовж номінально співпадаючих конгруентних частин поверхонь різних тіл, або – ліній на цих поверхнях. Це, наприклад, шліцеві з'єднання, роликотідишпники, зубчасті зачеплення, кулачки, поршні та циліндри двигунів внутрішнього згорання тощо. Проте реальна макроеометрична форма цих тіл має хвилястість, відхилення внаслідок похибок виготовлення та монтажу, зміщення із-за деформування опорних елементів тощо. Це одразу ж перетворює контакт уздовж конгруентних поверхонь на контакт уздовж неспівпадаючих поверхонь. Разом із тим цей випадок не можна подавати як традиційний “терцівський” (тобто початково точковий контакт). Дійсно, і сам характер початкового контакту, і тенденції зміни розподілів контактних зон та контактного тиску при зміні навантаження, конструктивних та технологічних

чинників має суттєві відмінності від згаданого “герцівського” контакту. Окрім того, цю відмінність посилює наявність мікрогеометричних чинників, які спотворюють модель контакту гладких тіл – шорсткість плівки, напилання, покриття тощо [1-8].

Отже, у підсумку виникає випадок контактної взаємодії, який має суттєво відмінний від попередніх моделей фізичний характер контактування. Відповідно, для аналізу закономірностей контактної взаємодії таких тіл незастосовні попередні математичні моделі. Таким чином, потрібна побудова таких моделей, які враховують вплив згаданих особливостей та суттєво значущих нових чинників.

Задля досягнення такої мети пропонується підхід на основі розвитку варіаційних постановок задач контактної взаємодії тіл близької форми [1,2,7,8]. Своєю чергою, на початковому етапі залучається модель контакту гладких тіл довільної форми. Із застосуванням апарату теорії варіаційних нерівностей поставлена задача зводиться до проблеми мінімізації функціоналу повної енергії системи деформівних тіл на множині пружних переміщень, які задовольняють умовам непроникнення цих контактуючих тіл одне в одного.

Надалі здійснюються два кроки.

Перший із них полягає у тому, що на макрогеометричному рівні у розгляд вводиться опис збурення форми поверхонь контактуючих тіл, наприклад, у вигляді розкладання в ряд за деякими базисними функціями, заданими на контактуючих поверхнях. Таке збурення тягне за собою збурення квадратичної та лінійної частини енергетичного функціоналу, проте він залишається за структурою тим же. Окрім того, змінюються граничні умови контактної взаємодії: у ці умови індентуються збурення, які відображають зміну початкового зазору. Це також не змінює структуру початкових умов у вигляді нерівностей, а лише кількісно збурює величину початкового нормального зазору між контактуючими поверхнями. Разом із тим невелике збурення і функціоналу, що мінімізується, і,

особливо, - крайових умов, можуть спричинити значну зміну розв'язку задачі про контактну взаємодію порівняно із незбуреним випадком.

Другий крок полягає у моделюванні на мікроструктурному рівні привнесення додаткових складових. Фізично це відповідає появі нової, додаткової структури, яка акумулює в собі деяку енергію. У математичному плані це значить, що у енергетичному функціоналі, що мінімізується, з'являється додатковий доданок. Цей доданок може бути не квадратичним, проте – опуклим функціоналом.

Отже, у результаті розв'язується задача пошуку мінімуму випуклого функціоналу на випуклій множині односторонніх лінійних обмежень.

Тобто, принципової зміни математичної моделі, яка би не дала застосовувати апарат теорії варіаційних нерівностей, не відбувається.

Таким чином, запропонований підхід вибудовує послідовність кроків, які поступово перетворюють вихідну задачу у задачу такого ж типу, проте із урахуванням нових значущих чинників. При цьому виконуються усі умови існування та єдиності розв'язку поставленої задачі.

Разом із тим, незважаючи на збереження структури усіх компонентів трансформованої задачі, основними особливостями, які можуть різко змінити їх розв'язок, є:

1) зміна нульового зазору при привнесенні збурення на форму поверхонь контактуючих тіл; дійсно, хоча ці збурення порівняно незначні, проте вони накладаються на початково нульовий зазор, і це – потенційне джерело суттєвих змін у розв'язку;

2) зміна характеру нелінійної частини енергетичного функціоналу, яка відповідає за мікрогеометричні (мікроструктурні) чинники; така зміна у поєднанні зі змінами, зазначеними у п. 1), теж може призвести до суттєвої зміни розв'язку задачі.

Врешті-решт, сформована математична постановка, яка базується на варіаційних принципах, має переваги над попередніми: враховуються, з одного

боку, нові фізичні чинники; трансформуються, з іншого боку, варіаційні формулювання; окрім того, об'єднуються у рамках єдиної моделі мікро- та макромасштабні чинники.

Розроблений підхід застосований до аналізу контактної взаємодії елементів широкої множини конструкцій.

Список використаних джерел

1. Ткачук М. М., Грабовський А. В., Скріпченко Н. Б. та ін. Контактна взаємодія складнопрофільних тіл за наявності між ними проміжних шарів із нелінійними властивостями. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*. 2019. №7 (1332). С. 116-133.
2. Ткачук М. М. Мікромеханічні моделі та методи осереднення властивостей матеріалів мережевої структури та проміжних шарів контактуючих тіл: дис... на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: 05.03.20. Харків, 2020. 464 с.
3. Barber J. R., Ciavarella M. Contact mechanics. *International Journal of solids and structures*. 2000. Т. 37, №. 1-2. Р. 29-43.
4. Barber J. R. Contact mechanics. Springer, 2018. 212 p.
5. Johnson K. L. Contact mechanics. Cambridge university press. 1985. 462 p. <https://doi.org/10.1017/cbo978113917173>.
6. Kalker J. J. Variational principles of contact elastostatics. *J. Inst. Math. And Appl.* 1977. Vol. 20. P. 199-221.
7. Tkachuk M. A Numerical method for axisymmetric adhesive contact based on Kalker's variational principle. *East.- Eur. J. Enterp. Technol.* 2018. V. 3(7). P. 34-41.
8. Tkachuk M., Grabovskiy A., Tkachuk A. Numerical and Analytical Analysis Methods for Radial Response of Flexible Ring Dampers. In: Rackov, M., Mitrović, R., Čavić, M. (eds). *Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering. Mechanisms and Machine Science*. 2022. Vol. 109.

Наукове видання

МАТЕРІАЛИ

**V МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ПРАКТИЧНОЇ
ІНТЕРНЕТ-КОНФЕРЕНЦІЇ**

**РОЗВИТОК СУЧАСНОЇ НАУКИ ТА ОСВІТИ:
РЕАЛІЇ, ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ, ІННОВАЦІЇ**

(м. Запоріжжя, 29-31 травня 2024 р.)

Відповідальний за випуск: Н. А. Дьоміна
Дизайн і верстка: А. Ф. Дяденчук, А. А. Іванченко

Адреси для листування:
69006, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, пр. Соборний, 226
E-mail: vmf@tsatu.edu.ua
Сайт конференції: <https://sites.google.com/tsatu.edu.ua/mvfconf>