

УДК 539.3

**А. П. МАРЧЕНКО, М. А. ТКАЧУК, С. О. КРАВЧЕНКО, О. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, В. Г. ГОНЧАРОВ,  
О. В. КОХАНОВСЬКА, І. Я. ХРАМЦОВА, А. М. ГОЛОВІН, В. В. ШЕМАНСЬКА**

### **ТЕХНОЛОГІЯ ДИСКРЕТНОГО ТА КОМБІНОВАНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЛЯ ЗБІЛЬШЕННЯ РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ВІЙСЬКОВОЇ ТА ЦИВІЛЬНОЇ МОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ: ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

У статті описане розроблення та впровадження у виробництво нової комплексної енергозберігаючої технології виготовлення і ремонту на базі дискретного зміцнення відповідальних важконавантажених деталей військових та цивільних машин. Вона дає змогу підвищити ресурс та імпортозаміщення матеріалів, а також зменшити витрати енергії як на етапі виготовлення, так і при їх експлуатації. Розроблені рекомендації щодо режимів обробки деталей з використанням технологій дискретного зміцнення, які забезпечують підвищення енергоефективності на етапі виготовлення та експлуатації деталей машин.

**Ключові слова:** технологія дискретного зміцнення, комбіноване зміцнення, ресурс елементів конструкцій, військова та цивільна мобільна техніка, комп'ютерне моделювання.

В статті описана розробка та впровадження в виробництво нової комплексної енергозберігаючої технології виготовлення і ремонту на базі дискретного упрочнення відповідальних важконавантажених деталей військових та цивільних машин. Вона дозволяє підвищити ресурс та імпортозаміщення матеріалів, а також зменшити витрати енергії як на етапі виготовлення, так і при їх експлуатації. Розроблені рекомендації по режимам обработки деталей с использованием технологий дискретного упрочнения, обеспечивающих повышение энергоэффективности на этапе изготовления и эксплуатации деталей машин.

**Ключевые слова:** технология дискретного упрочнения, комбинированное упрочнения, ресурс элементов конструкций, военная и гражданская мобильная техника, компьютерное моделирование.

It's described development and introduction of new complex energy-efficient technology of manufacturing and repairing based on discrete strengthening of responsible heavy-duty military and civilian vehicles. It allows increasing resource and replacement of import materials, as well as reducing energy consumption during their manufacturing and operation. Recommendations for regimes of parts machining using discrete strengthening technology, which provide energy efficiency during production and exploitation of machine parts, are developed.

**Keywords:** discrete strengthening technology, combined strengthening, resource of structural elements, military and civilian mobile technics, computer modeling.

**Вступ.** Проблема створення високонадійної цивільної і військової техніки та забезпечення її високих технічних і тактико-технічних характеристик (ТіТТХ) при використанні найменш витратних, енергоефективних та екологічно безпечних методів виробництва і обробки, безумовно, є дуже важливою для сучасного машинобудування. Значна частина машинобудівних конструкцій працює у важких умовах одночасної дії багатьох чинників – високих і неоднорідно розподілених напружень, циклічних навантажень, що викликають втому матеріалу виробу; важливі також і такі чинники як підвищені та високі температури, наявність тертя, результатом якого є зношування контактуючих поверхонь, вплив агресивного середовища тощо. У зв'язку з цим при їх виготовленні необхідний пошук таких технологій, які дозволили б задовольнити якщо не всі, то принаймні найважливіші вимоги до характеристик матеріалу. Зокрема, гостро стоїть питання підвищення ресурсу транспортної військової та цивільної техніки, яке у першу чергу впирається у збільшення довговічності двигунів та інших визначальних елементів їхніх конструкцій.

Отже, проблема підвищення зносостійкості деталей транспортних засобів та трибосистем в цілому є актуальною і вимагає всебічного підходу і вивчення. При цьому технологічний процес виготовлення, ремонту і відновлення деталі (агрегату) передбачає не тільки досягнення необхідних геометричних параметрів, але і, головним чином, усунення або уповільнення руйнівних процесів, які природно протікають на поверхні деталі. Тому при досить великій кількості способів актуальною

проблемою досі є пошук нових ефективних технологій, що забезпечують підвищення ресурсу робочих поверхонь.

**Аналіз стану проблеми.** На теперешній час існує велика кількість методів, способів та технологій зміцнення деталей [1–7]. Це викликано тим, що основним чинником підвищення технологічного рівня та економічної ефективності експлуатації важконавантажених виробів є використання енерго- та ресурсозберігаючих технологій, які забезпечують підвищення триботехнічних і механічних характеристик деталей, вузлів та агрегатів, а також максимальний залишковий ресурс об'єктів.

При виготовленні та ремонті будь-якої машини слід визначити її агрегат, вузол чи деталь, які у першу чергу схильні до відмов у роботі. Практика показала, що такою слабкою ланкою для транспортних засобів є, наприклад, дизель, а найбільш характерною деталлю останнього з позицій відмов є колінчастий вал. Він зміцнюється із застосуванням азотування, цементації, СВЧ та інших засобів зміцнення. При виконанні заключних операцій шліфування значна частина зміцненого шару видаляється. Внаслідок цього нові колінчасті вали, як правило, мають різну товщину зміцненого шару за периметром корінних та шатунних шийок. У результаті там, де цей шар найтонший, виникають втомні віспоподібні вириви металу глибиною до 0,5 мм, що вимагає перешліфування вала у менший ремонтний розмір. Отже, згідно з діючими ремонтними технологіями, видаляється первинний зміцнений шар металу. Тому після декількох ремонтів вал із дорогої сталі доводиться утилізувати, хоча цей вал втратив усього

кілька сот грамів металу.

Подібні проблеми виникають при ремонті інших важких машин – прокатних станів, турбін, потужних металорізальних верстатів, двигунів морських та річкових суден тощо. Тому протягом останніх двох десятиліть був проведений цикл теоретичних та експериментальних досліджень, метою яких було визначення оптимальних напрямків підвищення надійності таких машин технологічними методами при виготовленні та ремонті. Першим етапом цих досліджень була систематизація методів інженерії поверхні деталей машин, що знайшла відображення в наукових працях [8–10]. Було показано, як впливають різні методи на експлуатаційні властивості деталей (зносостійкість, опір втомі, опір адгезійним явищам, задиростійкість, триботехнічні характеристики тощо) через комплекс фізико-механічних характеристик (мікротвердість, залишкові напруження, мікроструктуру, текстуру, мікро- і макропрофіль поверхні, товщину зміцненого шару та міцність його утримання на основі).

На основі цих досліджень було науково обґрунтовано, широко апробовано і впроваджено у виробництво принципово нову високоефективну технологію зміцнення деталей типу вал двигунів та силових агрегатів, основою якої є нова концепція формування зносостійкого шару металу. Цей шар поєднує переваги класичних суцільних покриттів, такі як хороші захисні властивості від дії середовища та високий опір зношуванню. Крім того, особливостями такого методу отримання поверхневого шару є його дискретність, що передбачає чергування зносостійких "острівців" або "стрічок" будь-якої конфігурації з незміцненими ділянками основи деталі. Оскільки ці "острівці" або "стрічки" між собою розділені основним матеріалом, то кожен з них несе тільки свою частину навантаження. Цей захід дає змогу виключити розтріскування поверхневого шару під навантаженням, що є досить характерними для суцільних покриттів. Ще однією особливістю концепції є створення заглиблень на самих "острівцях" та "стрічках" зносостійкого матеріалу для поліпшення умов змащування пари деталей, що працюють при терті ковзання. Що стосується змащування, то суттєвою перевагою дискретного покриття над суцільним є різні швидкості зношування матеріалу "острівців" і матеріалу основи. Тобто під час припрацювання пари деталей в контактні утворюються мікрозазори по усій поверхні основного матеріалу, які стають резервуарами для мастила.

Теоретичний та числовий аналіз та синтез роботи зміцнених деталей [11–17] на мікро- та макрорівні за допомогою методу скінченних елементів продемонстрував, що для технології дискретного зміцнення характерні прояви двох ефектів: «Δ-ефект» та «σ-ефект». Перший пов'язаний із тим, що із-за різниці фізико-механічних властивостей матеріалу зони дискретного зміцнення та основного металу при навантаженні на поверхні зміцненої деталі формуються виступи дискретних зон над номінальним рівнем поверхні. При цьому такий «архіпелаг» острівців несе основне навантаження. Другий ефект пов'язаний з тим,

що при складанні залишкового та робочого напружено-деформованого станів підвищується рівень напружень у зонах дискретного зміцнення, а в основному металі – зменшується. Це приводить у цілому до підвищення міцності загальної композиції, оскільки механічні властивості легувального металу значно вищі.

Параметрична оптимізація параметрів дискретизації дала змогу оцінити рекомендований показник відносної площі дискретного зміцнення у 65÷75%.

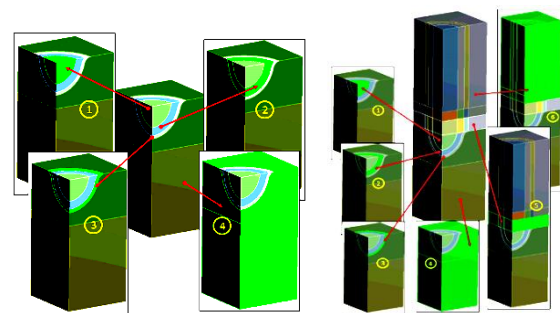
**Постановка завдань досліджень.** Мета роботи – визначення науково обґрунтованих рекомендацій щодо застосування технологічних режимів з метою забезпечення тактико-технічних та технічних характеристик широкого класу військових машин та цивільної техніки на основі додаткових багатоваріантних комп'ютерних досліджень напружено-деформованого стану дискретно зміцнених деталей машин.

Для обґрунтування ефективності розробленої технології дискретного зміцнення були проведені чисельні дослідження напружено-деформованого стану представницького фрагменту матеріалу деталі, зміцненої за технологією дискретного зміцнення, з одного боку, та деталі із зоною гальвано-плазмового оксидування (ГПО), – з іншого.

Зокрема, проведені варіювання коефіцієнту дискретного зміцнення (тобто відношення площі зміцнених зон до загальної площі поверхні деталі). Це відбувається за рахунок зростання розмірів деталі за межами зони дискретного зміцнення.

**Досліджування об'єкта.** При проведенні дослідження були розглянуті різні геометричні моделі, які описували ¼ частину виділеної ділянки матеріалу, що містить ґратку, утворену після проведення технологічної обробки - дискретного зміцнення.

Це дослідження складалося з двох етапів. На першому етапі розглядался сектор із ґраткою (зоною дискретного зміцнення) під дією зовнішнього тиску, на другому етапі розглядалася контактна взаємодія ґратки і елемента спряженого тіла. На рис. 1 представлені геометричні моделі для двох етапів досліджень, тут же позначені елементи геометричних моделей, для яких визначалися компоненти напружено-деформованого стану.



Геометрична модель I етапу    Геометрична модель II етапу

Рис. 1 – Геометричні моделі для двох етапів досліджень:  
1 – перший шар ґратки, 2 – другий шар ґратки, 3 – третій шар ґратки, 4 – основний матеріал, 5 – шар «ГПО», 6 – основний матеріал

На кожному етапі дослідження проводилося варіювання габаритних розмірів досліджуваної моделі, при якому розміри ґратки (трьох її елементів) залишалися незмінними, а варіювання, як зазначалося вище, проводилося за рахунок основного матеріалу. На рис. 2 представлена частина геометричної моделі із позначеним параметром варіювання  $a$ . У табл. 1 наведені габаритні розміри моделей для кожного з етапів.

Таблиця 1 – Габаритні розміри геометричних моделей

Радіус ґратки, мм	0,5						
Довжина сторони $a_i$ , мм	0,1	0,94	0,88	0,82	0,76	0,7	0,64
Висота нижньої частини $b$ , мм	2						
Товщина шару ГПО $c$ , мм	0,3						
Висота верхньої частини $d$ , мм	2,3						

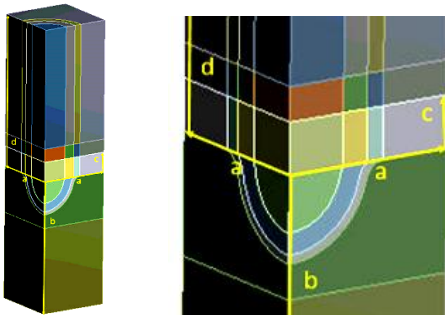


Рис. 2 – Частина геометричної моделі з варіюваним параметром  $a$

При цьому, як було відзначено вище, ґратка складалася з трьох частин, товщина третього і другого шару становить 1/10 і 1/4 частина радіусу ґратки, відповідно. У табл. 2 наведені фізико-механічні властивості матеріалів, які відповідають різним елементам досліджуваних моделей.

Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості матеріалів

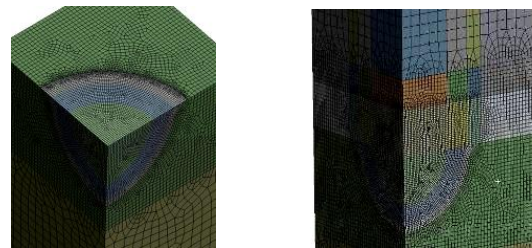
Матеріал	Модуль пружності $E$ , МПа	Коеф. Пуассона $\nu$	Границя міцності $\sigma_B$ , МПа
Сталь (шар 1)	$2 \cdot 10^5$	0,3	$8 \cdot 10^2$
Сталь (шар 2)	$2 \cdot 10^5$	0,3	$6 \cdot 10^2$
Сталь (шар 3)	$2 \cdot 10^5$	0,3	$4 \cdot 10^2$
Чавун	$1,1 \cdot 10^5$	0,25	$1,5 \cdot 10^2$
Шар ГПО	$3,448 \cdot 10^5$	0,3	$1,5 \cdot 10^2$
Алюміній	$7 \cdot 10^4$	0,35	$1,5 \cdot 10^2$

Таким чином, були побудовані 8 розрахункових схем для першого етапу дослідження. Перші 7 з них мали різні геометричні розміри при відповідних фізико-механічних властивостях матеріалів з урахуванням дискретного зміцнення, а 8-а відповідала 1-й за геометричними розмірами, але без урахування зміни фізико-механічних властивостей для дискретно зміцненої зони.

Для другого етапу було побудовано 10 розрахункових схем. Перші 7 пропонували варіювання параметра  $a_i$  з урахуванням фізико-механічних властивостей для дискретно зміцненої зони і шару ГПО,

проте були додані ще три моделі: 8-а розрахункова схема – без урахування властивостей дискретно зміцненої зони (призначалися властивості основного матеріалу – чавун), але з урахуванням властивостей матеріалу, отриманих при використанні ГПО; 9-а розрахункова схема – без урахування фізико-механічних властивостей, отриманих при використанні ГПО (призначалися властивості основного матеріалу – алюміній), але з урахуванням властивостей дискретно зміцненої зони; 10-а розрахункова схема – без урахування властивостей дискретно зміцненої зони і без властивостей, отриманих при використанні ГПО, обом елементам призначалися властивості основного матеріалу – чавун (для елементів 1-3) і алюміній (для елемента 5).

Побудовані скінченно-елементні моделі налічували близько 160 тис. елементів для моделей першого етапу і 200 тис. елементів – для другого. На рис. 3 представлені скінченно-елементні моделі для двох етапів. Використання елемента типу SOLID186 дає змогу мінімізувати похибку і тим самим домогтися найбільш точних результатів у ході чисельних досліджень.



SE модель I етапу

SE модель II етапу

Рис. 3 – Скінченно-елементні моделі для двох етапів дослідження

Як навантаження прикладався тиск 100 МПа до верхньої поверхні для усіх розрахункових схем, а нижня поверхня фіксувалася. Також на модель накладалися умови симетрії на всі бічні поверхні.

За підсумками проведених досліджень визначалися компоненти напружено-деформованого стану, переміщень, коефіцієнт запасу. Також будувалися графіки еквівалентних напружень і повних переміщень за заданими шляхами, на рис. 4 представлені задані шляхи.

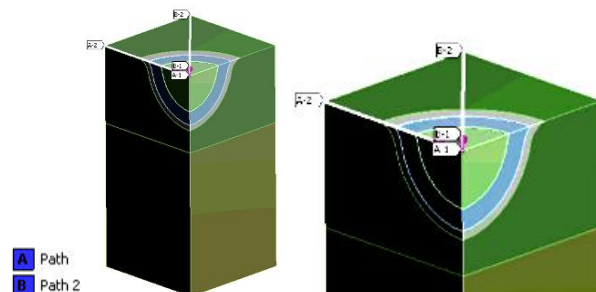


Рис. 4 – Задані шляхи для двох етапів дослідження

Результати чисельних досліджень першого етапу. Нижче на рис. 5–7 представлені діаграми з максимальними значеннями еквівалентних напружень, компонент тензора напружень, повними і осьовими деформаціями, переміщеннями і коефіцієнта запасу для елементів моделі.

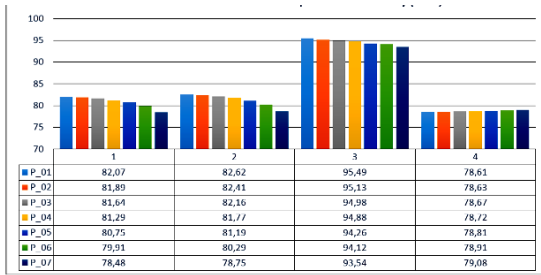


Рис. 5 – Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом(МПа)

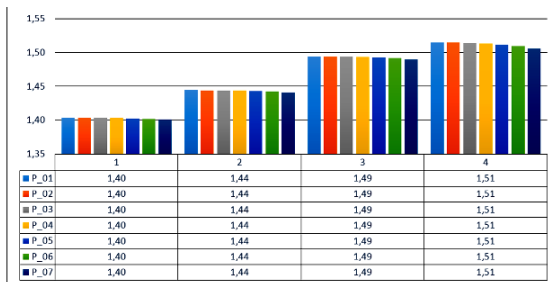


Рис. 6 – Максимальні повні переміщення (мм)

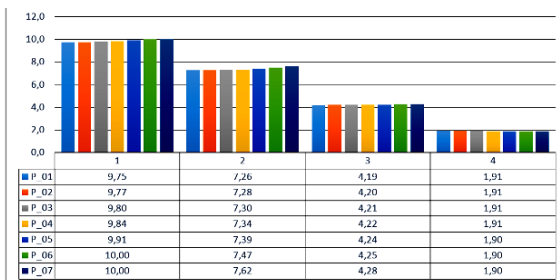


Рис. 7 – Коефіцієнт запасу

Також аналогічні діаграми були отримані і для моделей, що мали відмінності за фізико-механічними властивостями, які наведені на рис. 8, 9. При цьому представлені тільки характерні величини (максимальні еквівалентні напруження за Мізесом, максимальні повні деформації і коефіцієнт запасу).

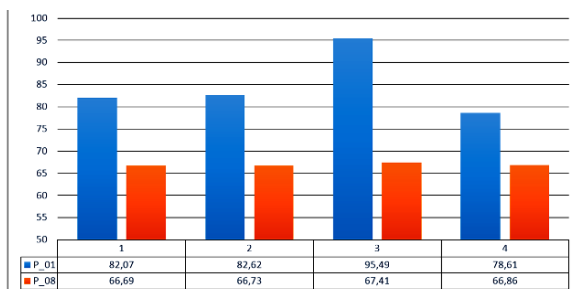


Рис. 8 – Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом(МПа)

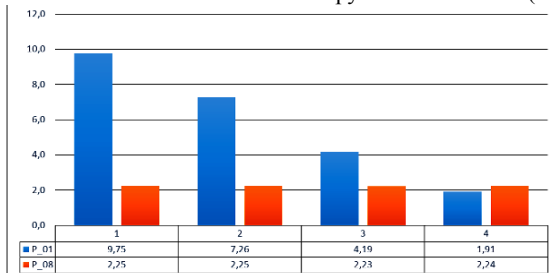


Рис. 9 – Коефіцієнт запасу за еквівалентними напруженнями

На рис. 10–13 представлені графіки розподілів окремих величин, побудовані за двома шляхами, повними деформаціями і повними переміщеннями, відповідно. На рис. 14–17 – аналогічні графіки для моделей, що мали відмінності за фізико-механічними властивостями.

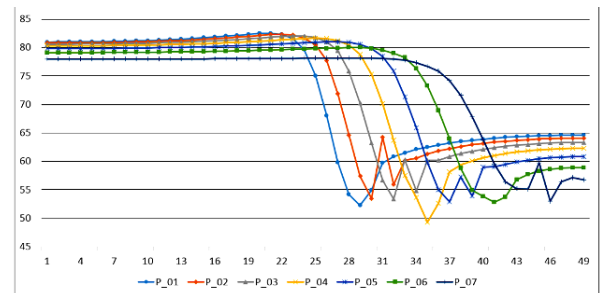


Рис.10 – Еквівалентні напруження за Мізесом(МПа), шлях 1

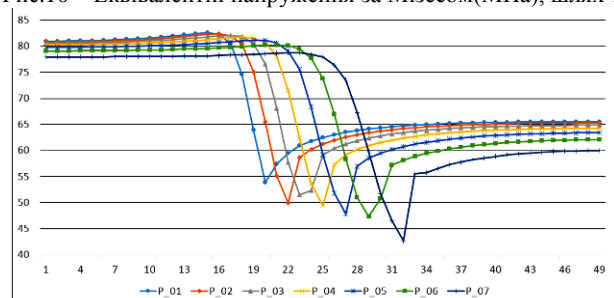


Рис. 11 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 2

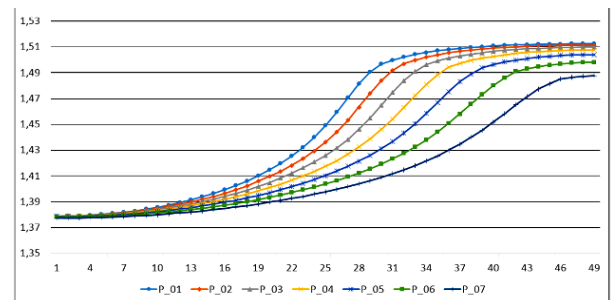


Рис. 12 – Повні переміщення (мм), шлях 1

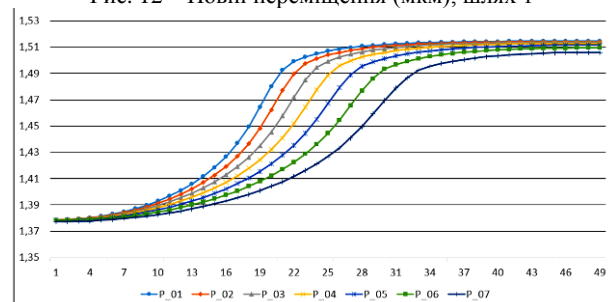


Рис. 13 – Повні переміщення (мм), шлях 2

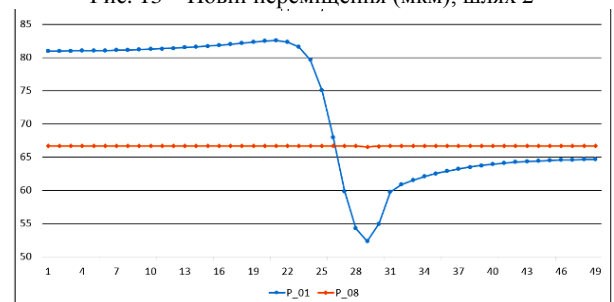


Рис. 14 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 1

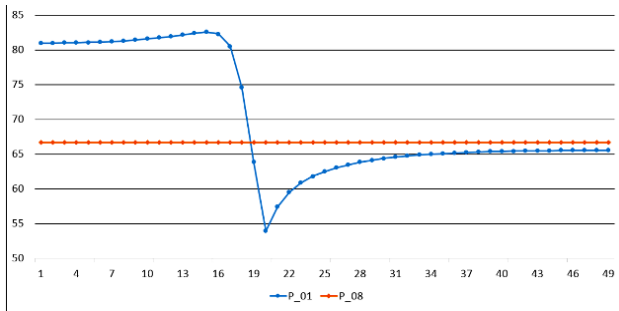


Рис. 15 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 2

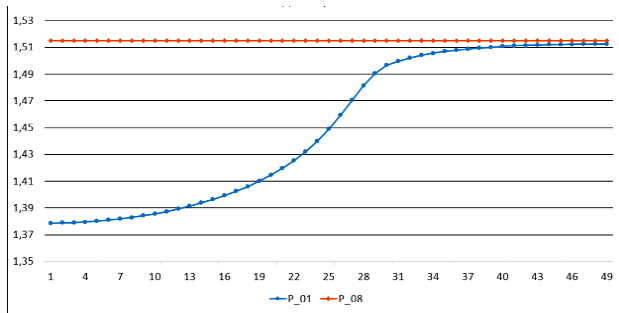


Рис. 16 – Повні переміщення (мкм), шлях 1

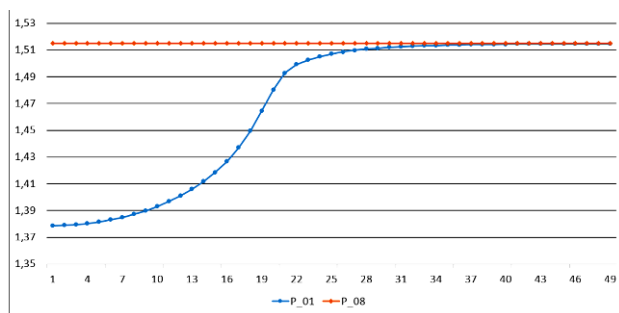


Рис.17 – Повні переміщення (мкм), шлях 2

У свою чергу, були визначені поля еквівалентних напружень, компонент тензора напружень, повних і головних деформацій, переміщень, а також коефіцієнта запасу для всіх елементів досліджуваної моделі. Однак оскільки для всіх моделей, що відрізнялися лише габаритними розмірами, але були однаковими за фізико-механічними властивостями матеріалів елементів моделі, дані розподілу є характерними, то на рис. 18–22 представлені результати для двох моделей, відмінності яких становили фізико-механічні властивості матеріалів, але самі моделі – однакові за розмірами.

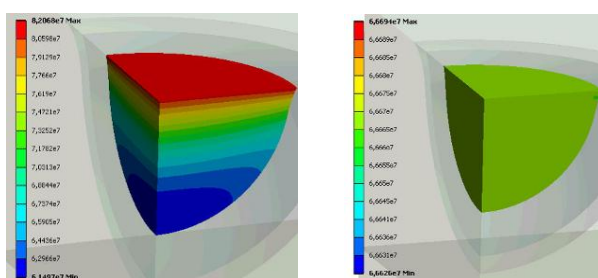


Рис.18 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

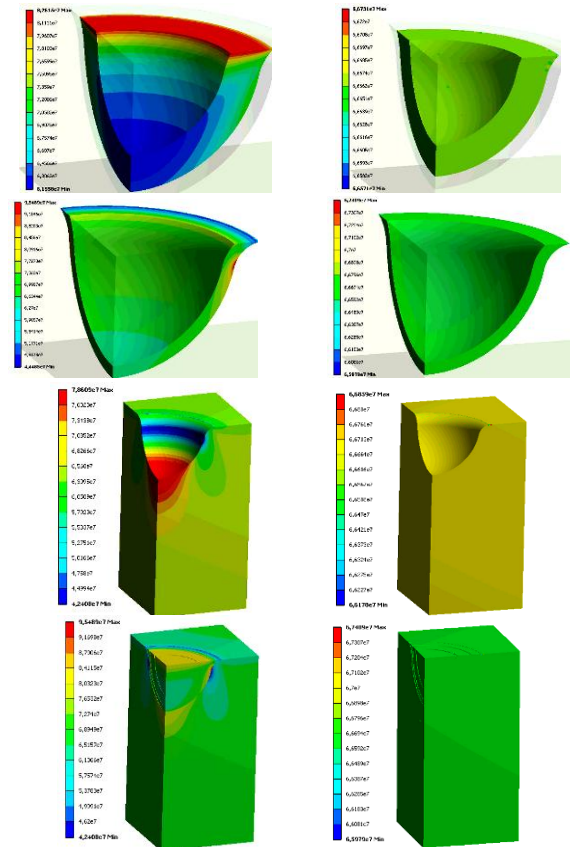


Рис. 19 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

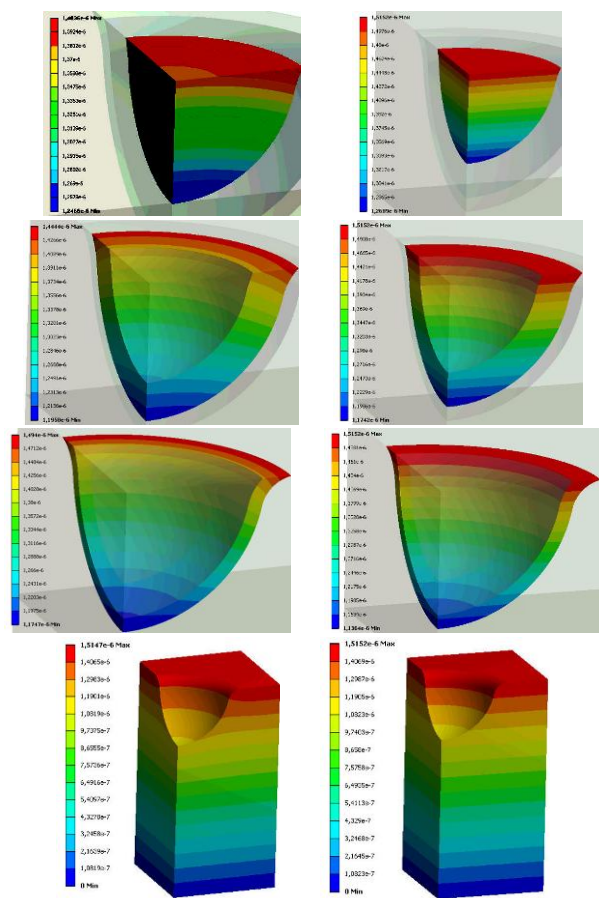


Рис. 20 – Розподіл повних переміщень

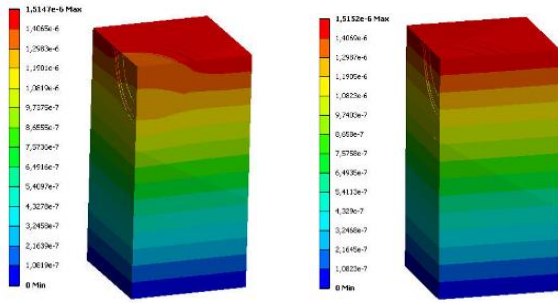


Рис. 21 – Розподіл повних переміщень

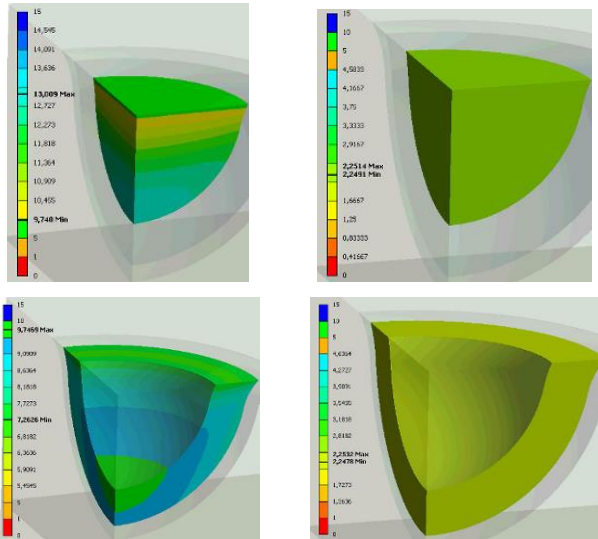


Рис. 22 – Розподіл коефіцієнта запасу

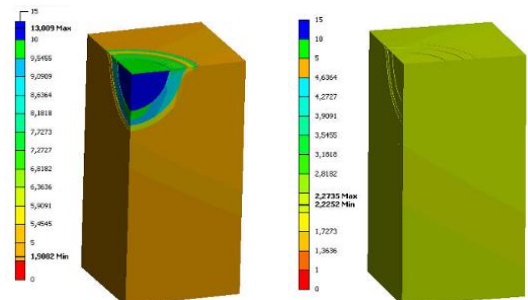
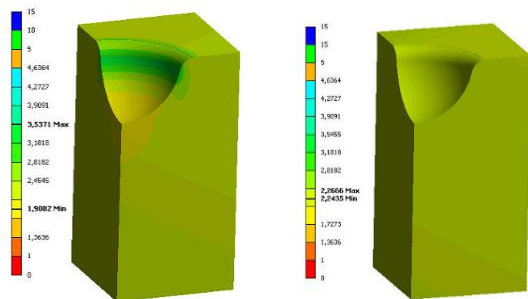
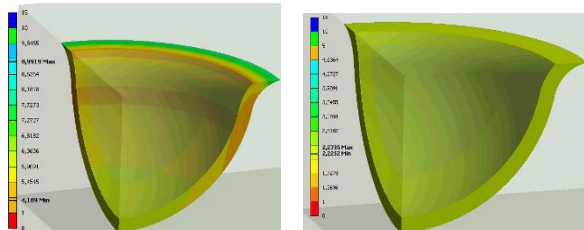


Рис. 23 – Розподіл коефіцієнта запасу

Результати другого етапу досліджень. Аналогічні результати досліджень для другого етапу представлені на рис. 24–53.

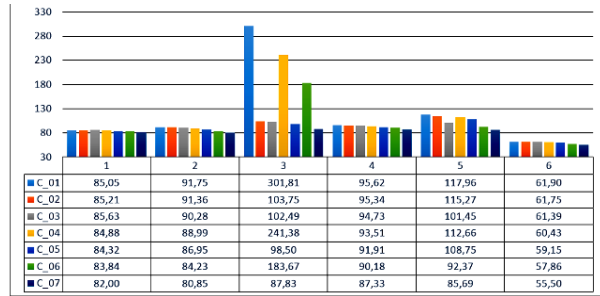


Рис. 24 – Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом (МПа)

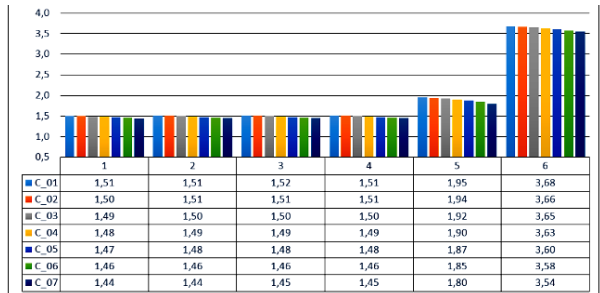


Рис. 25 – Максимальні повні переміщення (мкм)

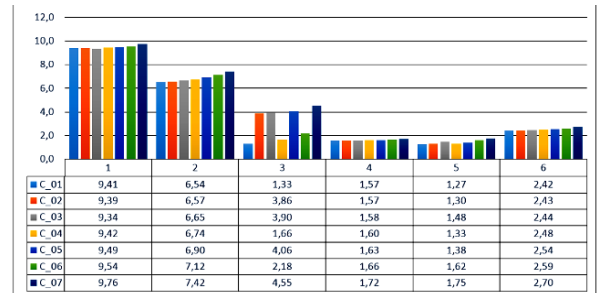


Рис. 26 – Коефіцієнт запасу

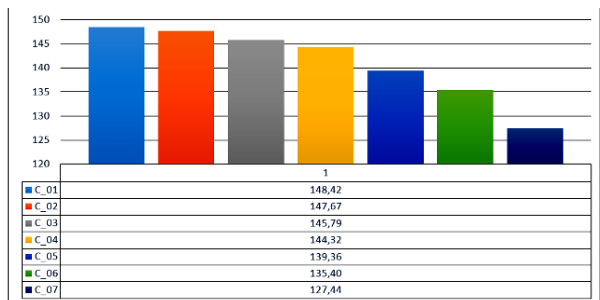


Рис. 27 – Контактний тиск (МПа)

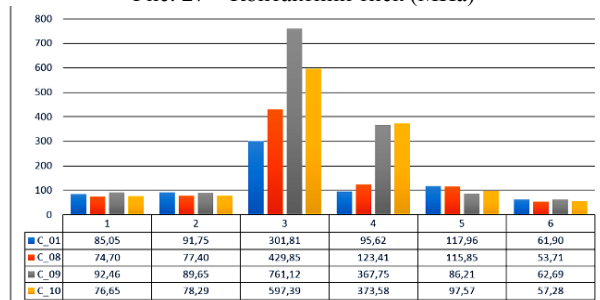


Рис. 28 – Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом (МПа)

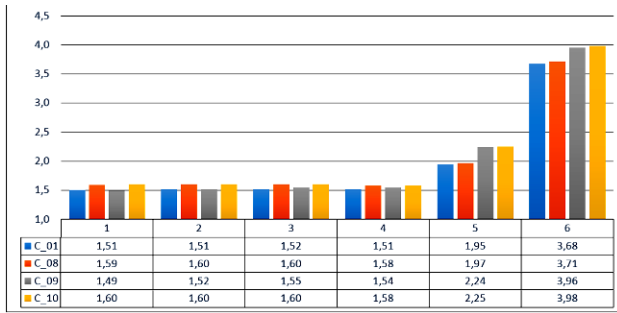


Рис.29 – Максимальні повні переміщення (мкм)

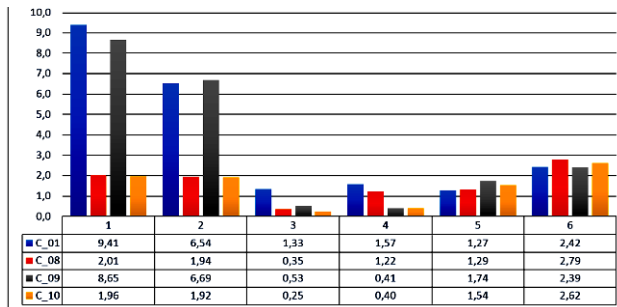


Рис. 30 – Коефіцієнт запасу

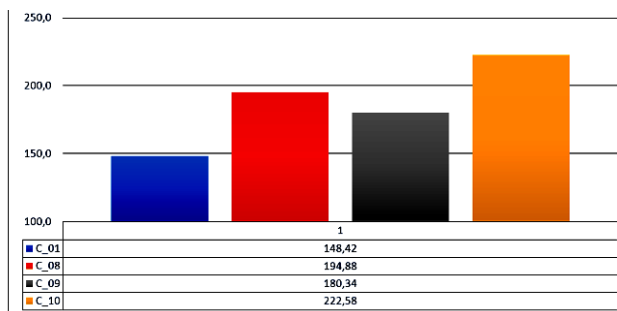


Рис. 31 – Контактний тиск (МПа)

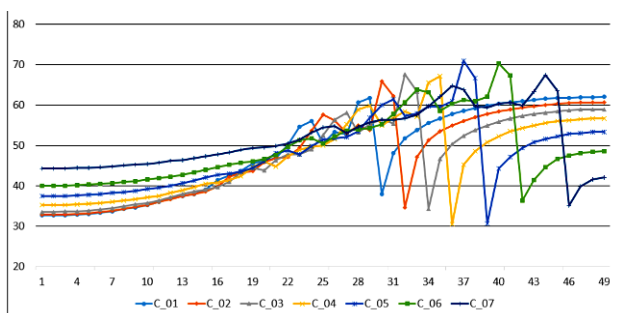


Рис. 32 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 1

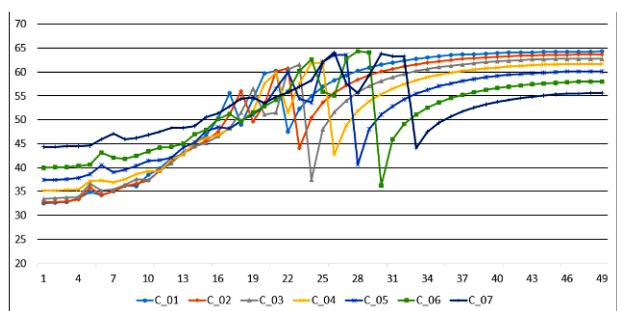


Рис. 33 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 2

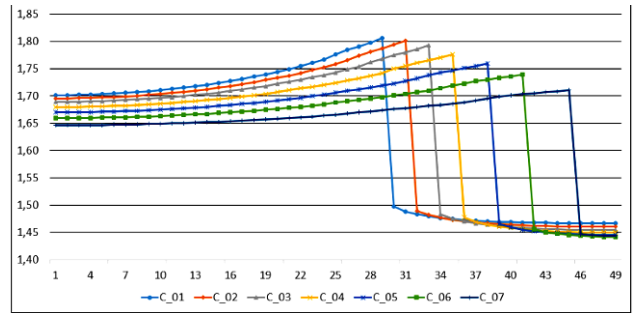


Рис. 34 – Повні переміщення (мкм), шлях 1

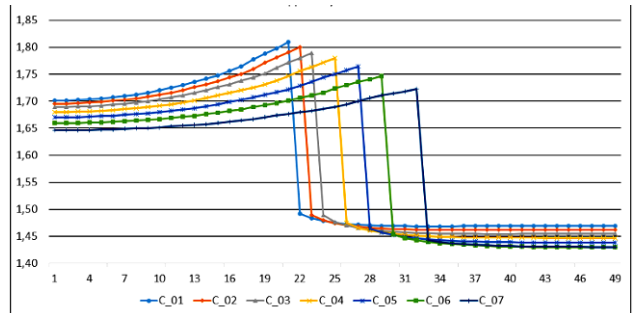


Рис. 35 – Повні переміщення (мкм), шлях 2

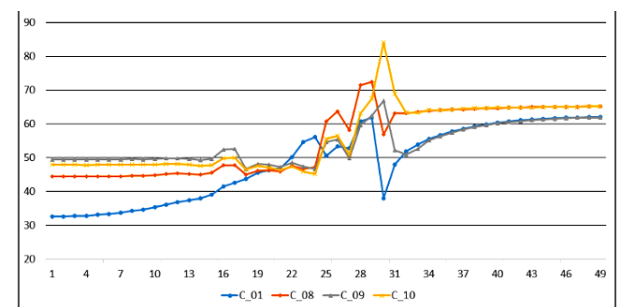


Рис. 36 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 1

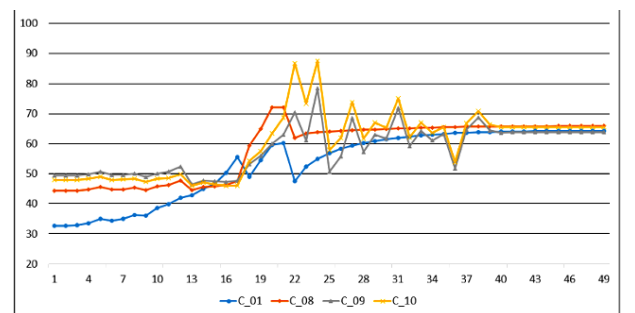


Рис. 37 – Еквівалентні напруження за Мізесом (МПа), шлях 2

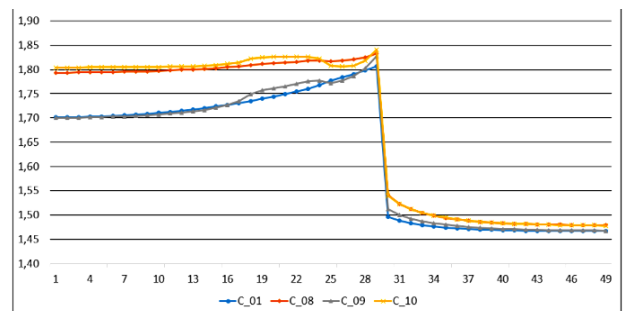


Рис. 38 – Повні переміщення (мкм), шлях 1

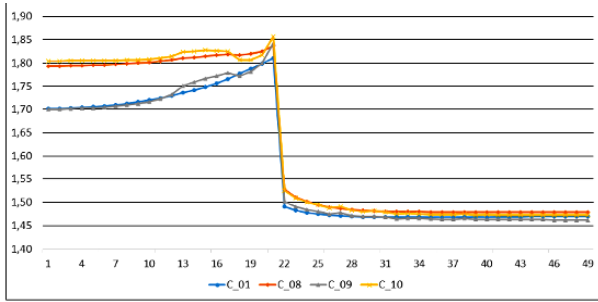


Рис. 39 – Повні переміщення (мкм), шлях 2

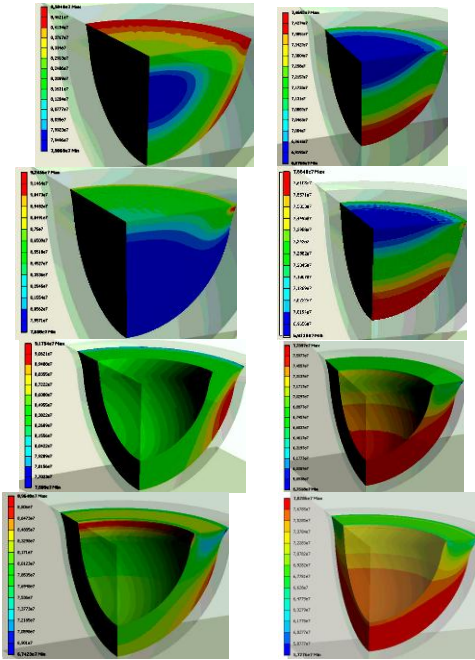


Рис. 40 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

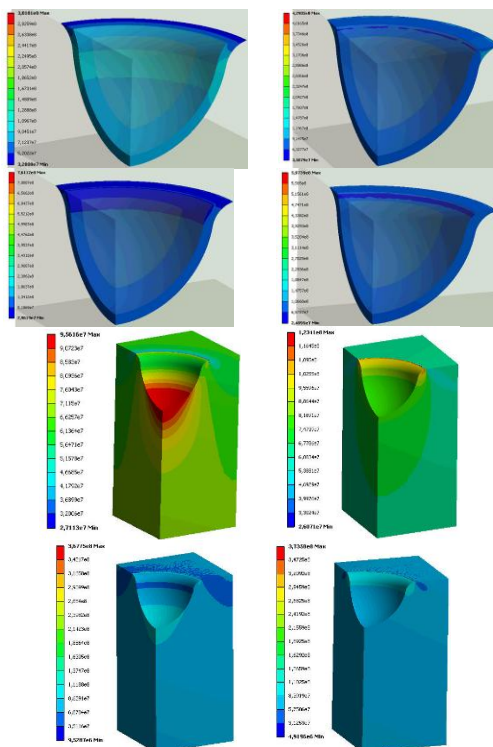


Рис. 41 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

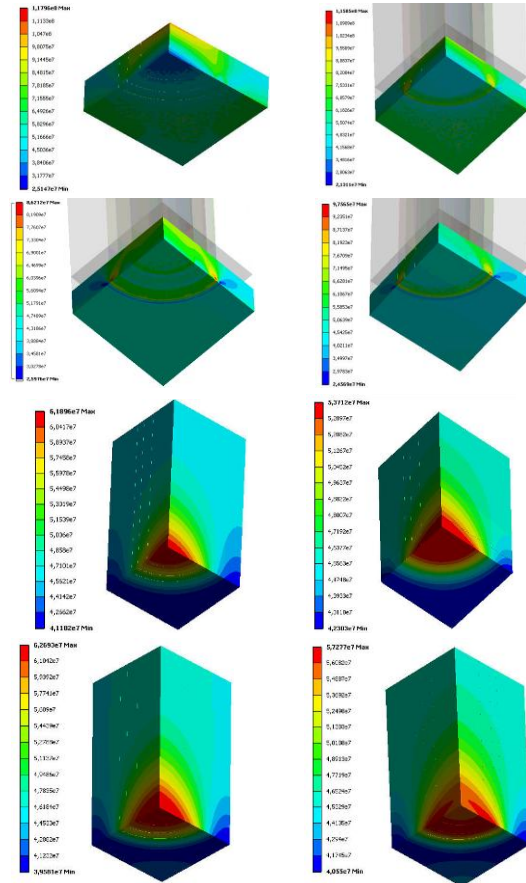


Рис. 42 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

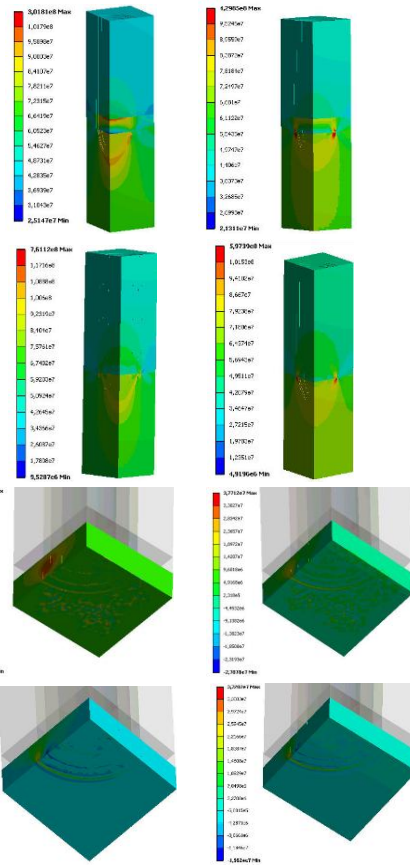


Рис. 43 – Розподіл контактної тиску, МПа



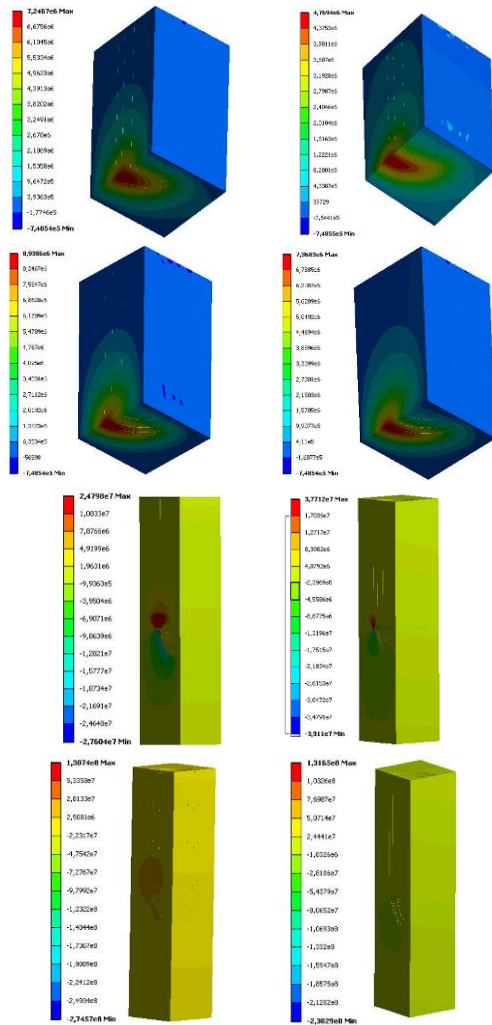


Рис. 44 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом

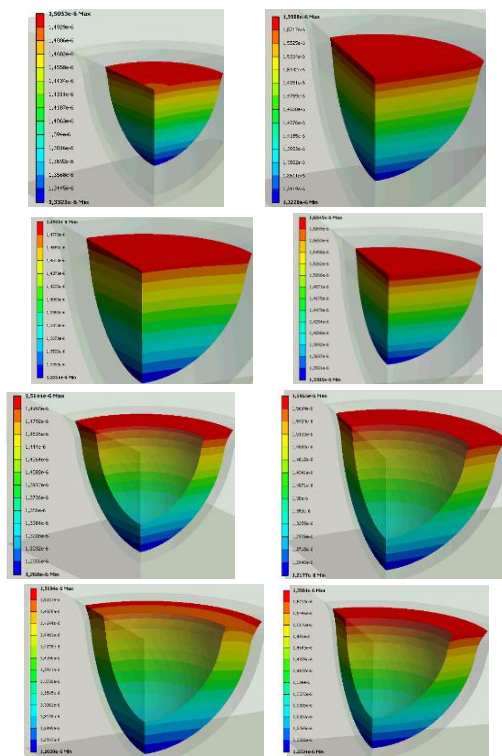


Рис. 45 – Розподіл повних переміщень

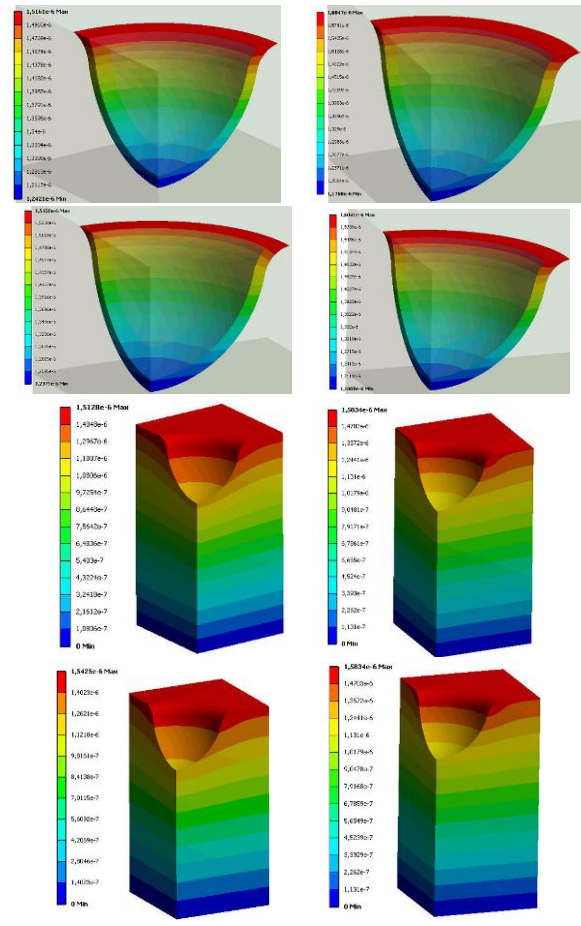


Рис. 46 – Розподіл повних переміщень

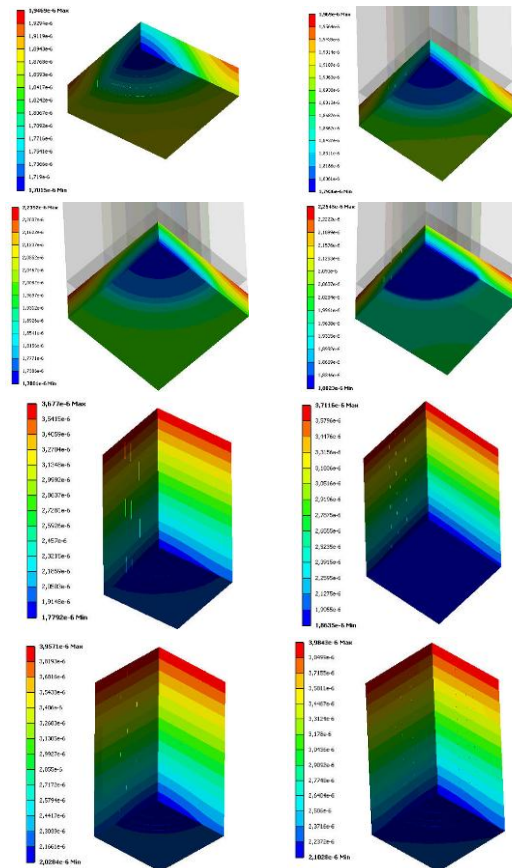


Рис. 47 – Розподіл повних переміщень

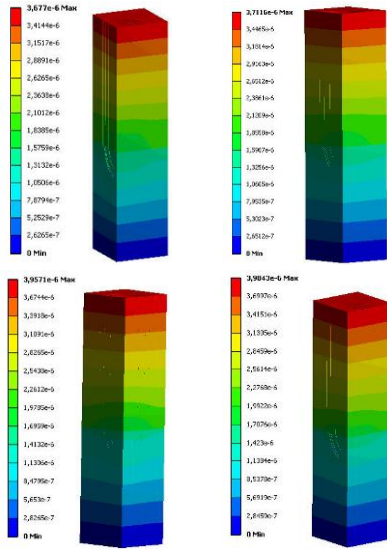


Рис. 48 – Розподіл повних переміщень

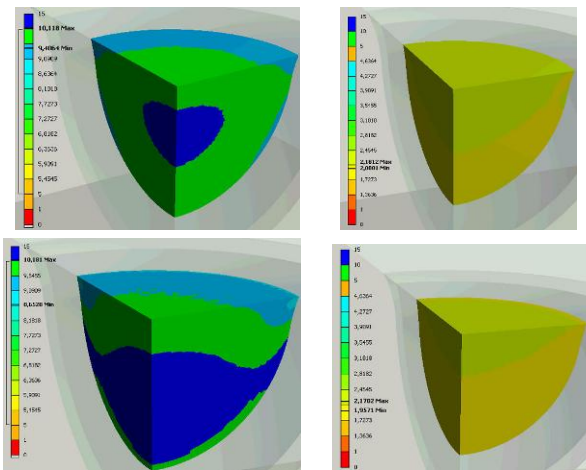


Рис. 49 – Розподіл коефіцієнту запасу

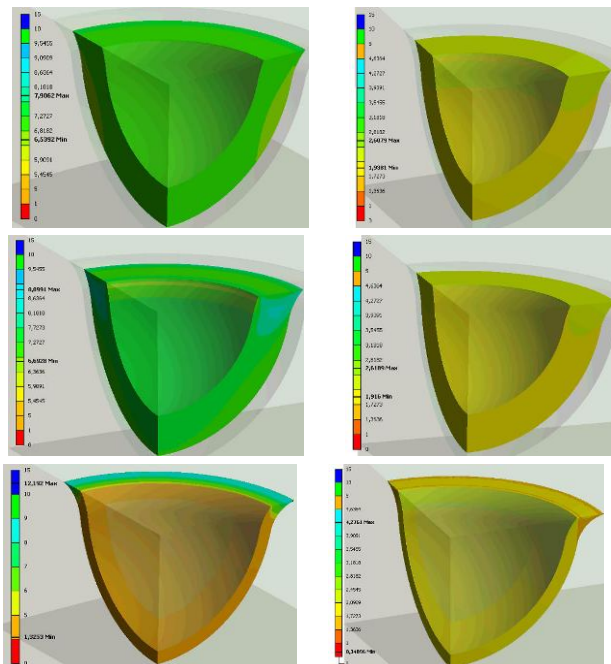


Рис. 50 – Розподіл коефіцієнту запасу

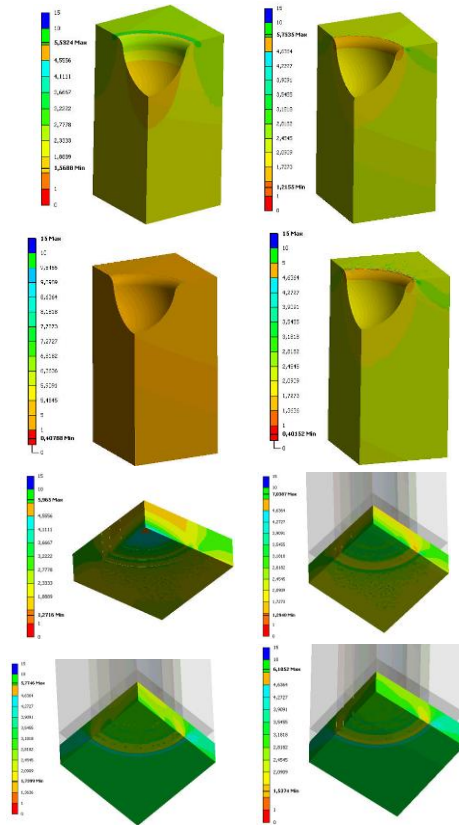


Рис. 51 – Розподіл коефіцієнту запасу

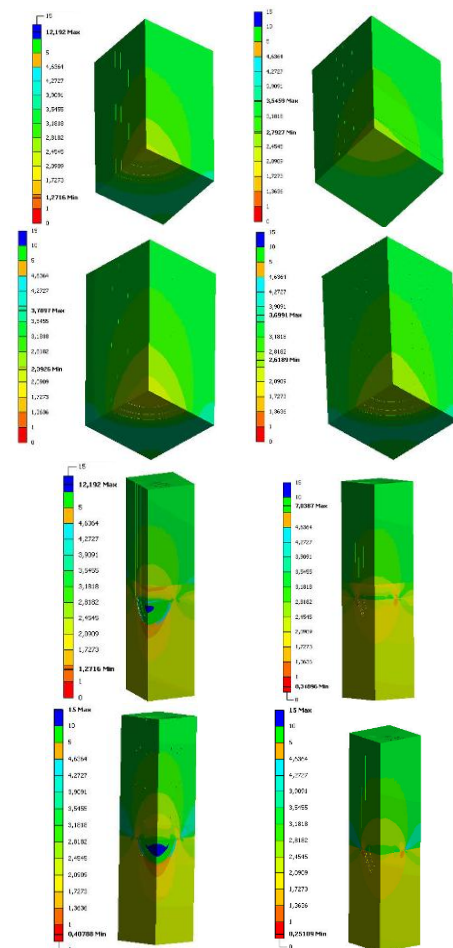


Рис. 52 – Розподіл коефіцієнту запасу

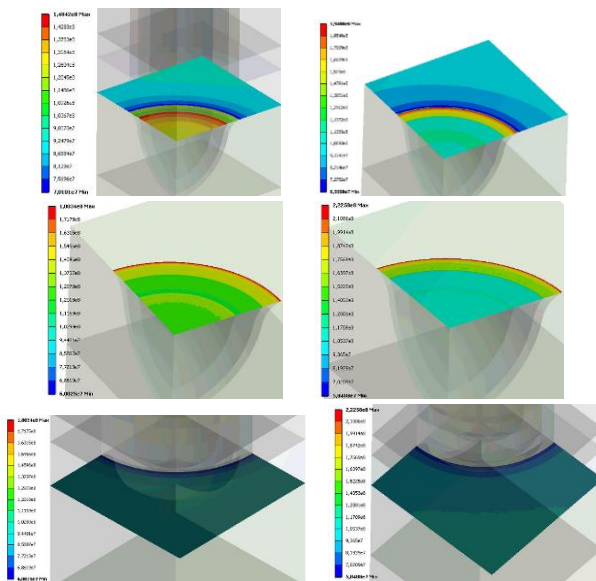


Рис. 53 – Розподіл коефіцієнту запасу

**Аналіз результатів.** Як видно із наведених результатів, досягається неоднорідний напружено-деформований стан досліджуваних тіл. При цьому підтверджено результати попередніх досліджень [11–17], отримані на моделях більш простого рівня, проте уточнено розподіл компонент напружено-деформованого стану за рахунок побудови та використання у дослідженнях більш масштабних моделей.

Зокрема, побудована модель є, на відміну від попередніх [11–17], багатозаровою, а не однорідною, у частині моделювання зон дискретного зміцнення. Крім збільшення кількості зон із різними характеристиками, було значно збільшено також розмірність скінченно-елементної моделі. Це було викликано тим, що результати лабораторних досліджень, які виконані на попередніх етапах досліджень [11–17], демонстрували певну нерівномірність розподілу механічних і фізико-механічних властивостей матеріалу у зоні дискретного зміцнення. Це й було відображено у вдосконаленій скінченно-елементній моделі. Більш того, із використанням удосконалених моделей були проведені багатоваріантні розрахунки із варіюванням, як відзначалося вище, геометричних параметрів досліджуваної системи.

У результаті проведених досліджень встановлено:

1) зони дискретного зміцнення при прикладанні навантаження дещо виступають над номінальним рівнем поверхні дискретно зміцненої деталі; таким чином, більш інтенсивна взаємодія між контактуючими тілами здійснюється переважно через зони дискретного зміцнення; цей ефект, названий раніше [11–17] « $\Delta$ -ефект», підтвердився; він створює сприятливі умови для роботи контактуючих деталей;

2) підтвердився також раніше виявлений [11–17] т.з. « $\sigma$ -ефект», який полягає у підвищенні загального запасу міцності за рахунок перерозподілу контактного

тиску на зони дискретного зміцнення, матеріал яких має значно вищі механічні властивості порівняно із основним матеріалом деталі;

3) побудовані та застосовані скінченно-елементні моделі проємонстрували вирівнювання характеру розподілу компонент напружено-деформованого стану порівняно із тими, що були отримані із використанням більш простих моделей;

4) встановлено, що раціонально коефіцієнт дискретності слід забезпечувати на рівні 60÷75%.

На основі проведених досліджень вдалося перейти до аналізу ефективності роботи контактуючих пар із дискретно зміцненими деталями.

Отже, розрахунковим шляхом спрогнозовано значне зростання енергоефективності застосування дискретно зміцнених деталей на етапі експлуатації за рахунок підвищення міцності та зниження сил тертя.

Таким чином, проведений комплекс досліджень із застосуванням комп'ютерного моделювання є достатньо суттєвим підґрунтям для забезпечення ефективних технологічних рішень для технологій дискретного та комбінованого зміцнення.

Ці дослідження планується продовжити на майбутнє.

#### Список литературы

1. Канарчук В. С. Инженерия поверхности деталей транспортных засобів: сучасний стан і перспективи / В. С. Канарчук, Е. К. Посвятенко, Л. А. Лопата // Вісник Національного транспортного ун-ту. – К., 2000. – Вып.4. – С. 6–24.
2. Савченко Б. В. Дискретная обработка – эффективный способ упрочнения деталей машин / Б. В. Савченко, В. Г. Гончаров, А. Н. Леоненко // Механіка та машинобудування. – Х., 2010. – №1. – С. 44–49.
3. Гончаров В. Г. Повышение износостойкости трибосистем / В. Г. Гончаров, Б. В. Савченко // Автомобильный транспорт: Сб. научн. тр. Харьк. нац. авт.-дор. ун-та. – Х., 2003. – Вып.13. – С. 117–119.
4. Матеріалознавство. Підручник / С. С. Дяченко, І. В. Дощечкіна, А. О. Мовлян, Е. І. Плеваков. За ред. проф. С. С. Дяченко. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с.
5. Материаловедение : учебник / С. С. Дьяченко, И. В. Дощечкина, А. А. Мовлян, А. И. Плеваков; Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Х., 2010. – 462 с.
6. Верхотуров А. Д. Влияние структуры диборида титана на условия формирования покрытий при электроискровом легировании стали / А. Д. Верхотуров, М. С. Ковальченко, И. А. Подчерняева [и др.] // Порошковая металлургия. – 1983. – № 8. – С. 35–39.
7. A.D.Panasyuk, I.A.Podchernyaeva, I.P.Neshpor, W.Gawalek, V.N.Ivanov. Magnetron sputtered coatings of AlN-TiCrB2 system. STC "Institute for Single Crystals" Functional Materials 16, No.4 (2009), p. 492–496.
8. Гончаров В. Г. Повышение износостойкости коленчатых валов форсированных дизелей большой мощности / В. Г. Гончаров, Э. К. Посвятенко, С. С. Дяченко // Резание и инструмент в технологических системах. – 2009. – Вып. 77. – С. 53–65.
9. Гончаров В. Г. Підвищення ресурсу транспортної техніки удосконаленням технології ремонту колінчастих валів: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / В. Г. Гончаров. – Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – Х.: 2008. – 20 с.
10. Гончаров В. Г. Исследование износостойкости стальных коленчатых валов / В. Г. Гончаров, Б. В. Савченко // Вісник ХДТУСГ. – Харків: Изд-во ХДТУСГ. – 2003. – Выпуск 17 – С. 71–76.
11. Ткачук Н. А. Численное моделирование контактного взаимодействия деталей ДВС, изготовленных с применением комбинированных технологий / Н. А. Ткачук,

- О. В. Веретельник, А. В. Грабовский, С. А. Кравченко, С. Ю. Белик // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукр. научно-техн. журнал. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – № 2. – С. 63–67.
12. Кравченко С. Комбинированные технологии повышения износостойкости высоконагруженных пар трения / С. Кравченко, Е. Посвятенко, М. Ткачук, О. Веретельник // Systemy i šrodky transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 5. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2014 – S. 269–280.
  13. Континуальная и дискретно-континуальная модификация поверхностей деталей: монография / Н. А. Ткачук, С. С. Дьяченко, Э. К. Посвятенко, С. А. Кравченко, В. Г. Гончаров, В. В. Шпаковский, Н. Л. Белов, А. И. Шейко, А. К. Олейник, И. В. Пономаренко. – Х. : Щедра садиба плюс, 2015. – 259 с.
  14. Гончаров В. Г. Наукові основи зміцнення поверхонь високонавантажених елементів двигунів / В. Г. Гончаров, М. А. Ткачук, С. С. Дьяченко, С. О. Кравченко, В. М. Шеремет // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Х. : НТУ «ХП», 2009. – №28. – С.20–30.
  15. Ткачук М. А. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин з дискретним зміцненням / М. А. Ткачук, В. М. Шеремет, Т. О. Васильєва // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Х. : НТУ «ХП», 2010. – №12. – С. 93–99.
  16. Ткачук Н. А. Повышение ресурса тяжело нагруженных элементов ДВС путем дискретного упрочнения деталей. Моделирование напряженно-деформированного состояния / В. Н. Шеремет, Н. А. Ткачук, В. Г. Гончаров // Двигатели внутреннего сгорания. – Х. : НТУ «ХП», 2010. – №2. – С. 118–123.
  17. Ткачук М. А. Розвиток методів зміцнення найбільш навантажених деталей – шлях до підвищення технічних і тактико-технічних характеристик машин / М. А. Ткачук, С. О. Кравченко, В. В. Шпаковський, М. Л. Белов, О. І. Шейко, В. І. Демиденко, С. С. Дьяченко, Е. К. Посвятенко, В. Г. Гончаров // Вісник НТУ «ХП». Зб. наук. праць. Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХП», – 2015. – №43 (1152). – С. 116–122.
  7. A.D.Panasyuk, I.A.Podchernyaeva, I.P.Neshpor, W.Gawalek, V.N.Ivanov. Magnetron sputtered coatings of AlN-TiCrB2 system. STC "Institute for Single Crystals" Functional Materials 16, No.4 (2009), p. 492–496.
  8. Goncharov V. G. Povyshenie iznosostojkosti kolenchatykh valov forsirovannykh dizelej bol'shoj moshhnosti / V. G. Goncharov, Je. K. Posvjatenko, S. S. Djachenko // Rezanie i instrument v tehnologicheskikh sistemah. – 2009. – Vol. 77. – p. 53–65.
  9. Honcharov V. H. Pidyshchennya resursu transportnoyi tekhniki udoskonalennyam tekhnolohiyi remontu kolinchastykh valiv: avtoref. dyss. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 / V. H. Honcharov. – Kharkiv's'kyi natsional'nyy avtomobil'no-dorozhnyy un-t. – Kharkov: 2008. – 20 p.
  10. Goncharov V. G. Issledovanie iznosostojkosti stal'nykh kolenchatykh valov / V. G. Goncharov, B. V. Savchenkov // Visnik HDTUSG. – Kharkov: Izd-vo HDTUSG. – 2003. – Vol 17 – pp. 71–76.
  11. Tkachuk N. A. Chislennoe modelirovanie kontaktnogo vzaimodejstviya detalej DVS, izgotovlennykh s primeneniem kombinirovannykh tehnologiy / N. A. Tkachuk, O. V. Veretel'nik, A. V. Grabovskij, S. A. Kravchenko, S. Ju. Belik // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. Vseukr. nauchno-tehn. zhurnal. – Kharkov : NTU "HPI", 2014. – No 2. – pp. 63–67.
  12. Kravchenko S. Kombinirovannye tehnologii povysheniya iznosostojkosti vysokonagruzhennykh par treniya / S. Kravchenko, E. Posvjatenko, M. Tkachuk, O. Veretel'nik // Systemy i šrodky transportu samochodowego. Wybrane zagadnienia. Monografia nr 5. Seria: Transport. – Rzeszów: Politechnika Rzeszowska, 2014 – pp. 269–280.
  13. Kontinual'naja i diskretno-kontinual'naja modifikacija poverhnostej detalej: monografija / N. A. Tkachuk, S. S. Djachenko, Je. K. Posvjatenko, S. A. Kravchenko, V. G. Goncharov, V. V. Shpakovskij, N. L. Belov, A. I. Shejko, A. K. Olejnik, I. V. Ponomarenko. – Kharkov : Shhedra sadiba plus, 2015. – 259 pp.
  14. Honcharov V. H. Naukovi osnovy zmitsnennya poverkhon' vysokonavantazhenykh elementiv dyvhuniv / V. H. Honcharov, M. A. Tkachuk, S. S. D'yachenko, S. O. Kravchenko, V. M. Sheremet // Visnyk NTU «KhPI». Zb. nauk. prats'. Tem. vyp.: Mashynoznavstvo ta SAPR. – Kharkov : NTU «KhPI», 2009. – No 28. – P.20–30.
  15. Tkachuk M. A. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanoho stanu detaley mashyn z dyskretnym zmitsnennyam / M. A. Tkachuk, V. M. Sheremet, T. O. Vasylyeva // Visnyk NTU «KhPI». Zb. nauk. prats'. Tem.vyp.: Mashynoznavstvo ta SAPR. – Kharkov : NTU «KhPI», 2010. – No 12. – pp. 93–99.
  16. Tkachuk N. A. Povyshenie resursa tjazhelonagruzhennykh jelementov DVS putem diskretnogo uprochneniya detalej. Modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija / V. N. Sheremet, N. A. Tkachuk, V. G. Goncharov // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. – Kharkov : NTU «HPI», 2010. – No 2. – pp. 118–123.
  17. Tkachuk M. A. Rozvytok metodiv zmitsnennya naybil'sh navantazhenykh detaley – shlyakh do pidvyshchennya tekhnichnykh i taktyko-tekhnichnykh kharakterystyk mashyn / M. A. Tkachuk, S. O. Kravchenko, V. V. Shpakovskyy, M. L. Byelov, O. I. Shejko, V. I. Demydenko, S. S. D'yachenko, E. K. Posvyatenko, V.H. Honcharov // Visnyk NTU «KhPI». Zb. nauk. prats'. Seriya: Transportne mashynobuduvannya. – Kharkov : NTU «KhPI». – 2015. – No 43 (1152). – pp. 116–122.

Надійшла (received) 10.04.2017

## Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

**Технологія дискретного та комбінованого зміцнення для збільшення ресурсу елементів конструкцій військової та цивільної мобільної техніки: визначення параметрів на основі комп'ютерного моделювання / А. П. Марченко, М. А. Ткачук, С. О. Кравченко, О. В. Веретельник, В. Г. Гончаров,**

**О. В. Кохановська, І. Я. Храмцова, А. М. Головін, В. В. Шеманська** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 161–174. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0066.

**Технология дискретного и комбинированного укрепления для увеличения ресурса элементов конструкций военной и гражданской мобильной техники: определение параметров на основе компьютерного моделирования / А. П. Марченко, Н. А. Ткачук, С. А. Кравченко, О. В. Веретельник, В. Г. Гончаров, О. В. Кохановская, И. Я. Храмцова, А. М. Головин, В. В. Шеманская** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 14 (1236). – С. 161–174. – Библиогр.: 17 назв. – ISSN 2079-0066.

**Technology discrete and combined resource strengthening to increase the structural elements of the military and civilian mobile technology: the definition of the parameters on the basis of computer modeling / A. P. Marchenko, M. A. Tkachuk, S. O. Kravchenko, O. V. Veretelnyk, V. H. Honcharov, O. V. Kokhanovska, I. Y. Khrantsova, A. M. Holovin, V. V. Shemanska** // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Transport machine building. – Kharkov : NTU "KhPI", 2017. – No. 14 (1236). – P. 161–174. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-0066.

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Марченко Андрій Петрович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", тел. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

**Марченко Андрей Петрович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», тел. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

**Marchenko Andriy Petrovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, vice-rector for scientific work, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", tel.: (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

**Ткачук Микола Анатолійович** – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

**Ткачук Николай Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», заведующий кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин»; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

**Tkachuk Mykola Anatoliyovych** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv polytechnic institute", head at the department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

**Кравченко Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри "Двигуни внутрішнього згоряння", , тел. (057) 7004034, e-mail: marchenko@kpi.kharkov.ua

**Кравченко Сергей Александрович** – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», тел.: (057) 707-69-01.

**Kravchenko Serhiy Oleksandrovych** – candidate of technical sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv polytechnic institute", Senior Research Officer at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-01.

**Веретельник Олег Вікторович** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", молодший науковий співробітник кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел.: (057) 707-69-01

**Веретельник Олег Викторович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», младший научный сотрудник кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Veretelnyk Oleh Viktorovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Research Assistant at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, tel.: (057) 707-69-01.

**Гончаров Віктор Григорович** – кандидат технічних наук, генеральний директор, Приватна науково-дослідна виробничо-комерційна фірма "ТАВІ", тел. (067) 7878060, e-mail: tma@tmm-sapr.org

**Гончаров Виктор Григорьевич** – кандидат технических наук, генеральный директор Частная научно-исследовательская производственно-коммерческая фирма "ТАВИ", тел. (067) 7878060, e-mail: tma@tmm-sapr.org

**Goncharov Viktor Hryhorovych** – Candidate tehnichnih Sciences, CEO, Private Research production and commercial firm "TAVI", тел. (067) 7878060, e-mail: tma@tmm-sapr.org

**Кохановська Ольга Владиславівна** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", провідний інженер кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел.: (057) 707-69-01

**Кохановская Ольга Владиславовна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ведущий инженер кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Kokhanovska Olga Vladyslavivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", senior engineer at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines, tel.: (057) 707-69-01

**Храмцова Ирина Яковлевна** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», науковий співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Храмцова Ирина Яковлевна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», научный сотрудник кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Khramtsova Iryna Yakivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Research Officer at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-01.

**Головін Андрій Михайлович** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студент кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел.: (057) 707-69-01.

**Головин Андрей Михайлович** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Holovyn Andrey Mykhaylovych** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-01.

**Шеманська Вікторія Вікторівна** – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут", студент кафедри "Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин", тел.: (057) 707-69-01.

**Шеманська Виктория Викторовна** – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент кафедры «Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин», тел.: (057) 707-69-01.

**Shemanska Viktoriya Viktorivna** – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", student of at the Department of theory and computer-aided design of mechanisms and machines; tel.: (057) 707-69-01.