НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Нові проектно-технологічні рішення для забезпечення тактико-технічних характеристик машин військового та цивільного призначення при ударній взаємодії

2016

Кафедра теорії і систем автоматизованого проектування механізмів і машин Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”

Ткачук Микола Миколайович

докторант кафедри
2011: к.т.н. “Динаміка та міцність машин”, НТУ “ХПІ”
2010: магістр “Обчислювальна механіка ”, Університет Штутгарта
2005: магістр “Прикладна математика”, ХНУ ім. В.Н. Каразіна
стажувався в Стенфордському та Штутгартському університетах, лауреат конкурсу “Молодий вчений Харківщини”, стипендіат Президента України, автор 76 публікацій

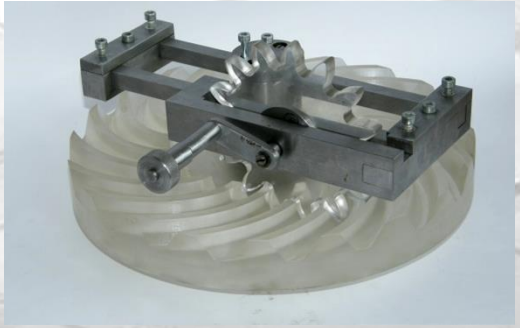
Грабовський Андрій Володимирович

старший науковий співробітник кафедри
2011: к.т.н. “Динаміка та міцність машин”, НТУ “ХПІ”
2006: магістр “Динаміка та міцність машин”, НТУ “ХПІ”
сертифікований спеціалістSolidWorks, Pro/Engineer, Autodesk, стажувався в університетах Сент-Етьєна та Магдебурга, лауреат конкурсу “Молодий вчений Харківщини”, автор 47 публікацій

Скріпченко Наталія Борисівна

молодший науковий співробітник кафедри
2011: спеціаліст “Інформаційні технології проектування”, НТУ “ХПІ”
2016: захист кандидатської дисертації за спеціальністю “Динаміка та міцність машин”, НТУ “ХПІ”
сертифікований спеціаліст SolidWorks, стажувалась в Аахенському університеті, автор 27 публікацій

Мета роботи полягає у створенні, удосконаленні та реалізації методів розв'язання зв'язаної задачі аналізу напружено-деформованого стану з урахуванням контактної взаємодії та синтезу параметрів машинобудівельних конструкцій на основі їх єдиного параметричного опису та інтеграції розрахункових моделей різного рівня та забезпеченні на цій основі поліпшення технічних та тактико-технічних характеристик машин військового та цивільного призначення.



Наукова новизна. Вперше розроблено удосконалені параметричні моделі досліджуваних конструкцій, які містять усю множину проектно-технологічних чинників, характеристик засобів ураження та навантаження, що дає змогу напряму визначати такі параметри, які гарантовано забезпечують задані ТХ і ТТХ машин, що проектуються та готуються до виробництва чи модернізації; удосконалено метод розв’язання зв’язаної задачі аналізу НДС з урахуванням контактної взаємодії і синтезу спряжених поверхонь тіл; запропоновано і реалізовано інтеграцію розрахункових моделей різного рівня складності в єдиному процесі дослідження контактної взаємодії і синтезу спряжених поверхонь тіл; установлені особливості форми та якісні зміни топології контактних зон і розподілу контактного тиску у спряженні тіл при зміні їх форми, розмірів та величини навантаження.

Практична значимість полягає в наступному: 1) розроблений і реалізований алгоритм розв’язання практично важливих задач розрахунку міцності при проектуванні елементів конструкцій; 2) отримані рекомендації щодо проектування дослідних зразків гідрооб’ємних (ГОП) та двохпараметричних передач у складі танкових трансмісій та перспективних трансмісій для легкоброньованих машин, силових ланцюгів, які привели до створення працездатних конструкцій з високими ТХ і ТТХ; 3) створені нові математичні моделі для визначення динамічних характеристик віброударної системи та обчислення внутрішніх зусиль, що дає змогу науково обґрунтовувати параметри з метою вдосконалення віброударних машин; 4) запропонований в роботі підхід володіє достатньою універсальністю і застосовністю для розв’язання задач обґрунтування проектних параметрів широкого класу контактуючих тіл, які здійснюють погоджений рух по поверхнях спряження.

Актуальність. При проектуванні нових елементів, у першу чергу – сучасних вітчизняних бойових легкоброньованих машин, виникають дві зв’язані задачі: I – аналізу напружено-деформованого стану (НДС) складнопрофільних тіл (СПТ) з урахуванням їхньої контактної взаємодії; II – геометричного синтезу їхніх кінематично генерованих поверхонь (КГП). Існуючі методики розв’язання задач I і II не забезпечують *варіативності* при описі форми тіл, мають недосконалі механізми *інтеграції* геометричних і розрахункових моделей і є недостатньо *збалансованими* за точністю та обчислювальними ресурсами на різних етапах досліджень. Суттєве значення дані чинники мають для *важких* вібраційних машин, зокрема, віброударних, тому що при цьому традиційні підходи до моделювання динамічних процесів і НДС не дають адекватних результатів. У зв’язку з цим удосконалення методів аналізу контактної взаємодії і синтезу тіл є *актуальною* науковою і практичною проблемою, яку розв’язано в поданій роботі.

Промислове впровадження

Результати досліджень упроваджені в ході виконання низки господарських і договорів про співпрацю з підприємствами, а також бюджетних тем в НТУ „ХПІ”. Це, зокрема, фундаментальні, прикладні тема та міжнародні гранти.

УкрОборонПром
Государственный концерн

ХКБМ

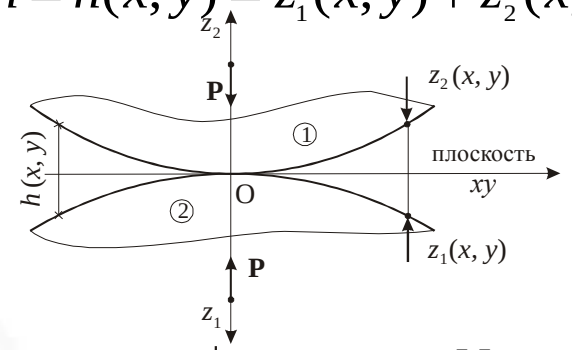
RTH
RAILTRANSHOLDING

Азовмаш

ПРОГРАМНО-МОДЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНТАКТНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Зазор між тілами

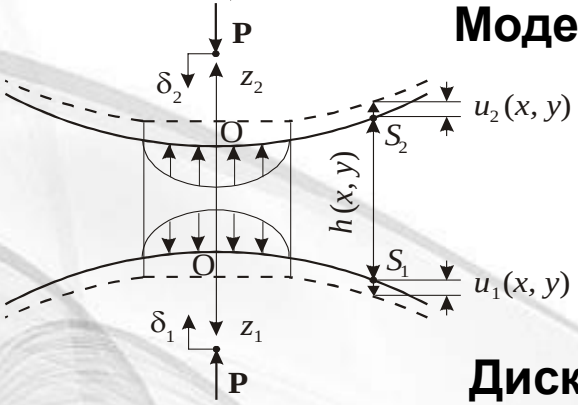
$$h = h(x, y) = z_1(x, y) + z_2(x, y)$$



Умови контакту

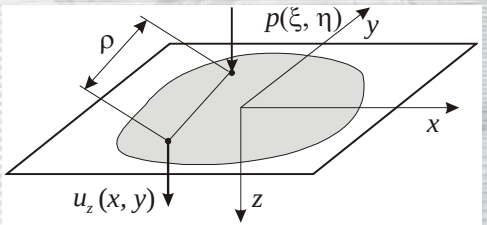
$$\begin{cases} u_{z_1}(x,y) + u_{z2}(x,y) + h(x,y) = \delta_1 + \delta_2, S_1(x,y) \\ \text{та} \quad S_2(x,y) - \text{в контакті;} \\ u_{z_1}(x,y) + u_{z2}(x,y) + h(x,y) > \delta_1 + \delta_2, S_1(x,y) \\ \text{та} \quad S_2(x,y) - \text{поза зоною контакта.} \end{cases}$$

Модель пружного напівпростору



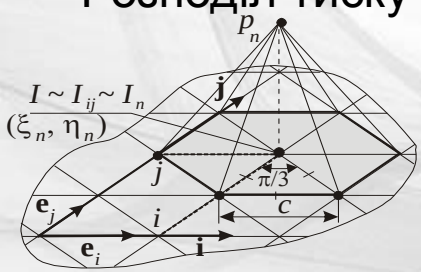
$$u_z(x,y) = \frac{1-\nu^2}{\pi E} \iint_S \frac{p(\xi,\eta)}{\rho} d\xi\, d\eta$$

$$\rho = \sqrt{(x-\xi)^2 + (y-\eta)^2}$$



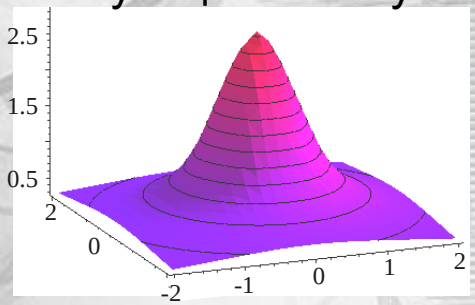
Дискретизація контактного тиску

Розподіл тиску для одиночного елемента



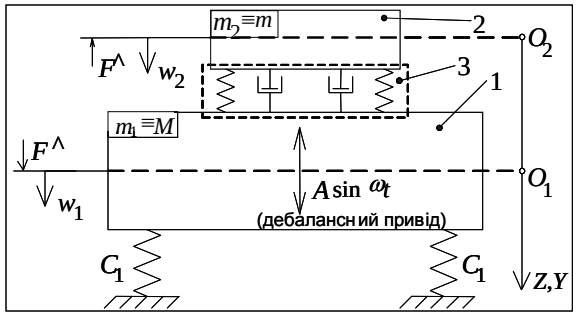
$$p(\xi,\eta) \cong \sum_n \hat{p}(\xi - \xi_n, \eta - \eta_n) \cdot p_n$$

Функція впливу



УДАРНА ВЗАЄМОДІЯ У ВІБРОУДАРНИХ СИСТЕМАХ

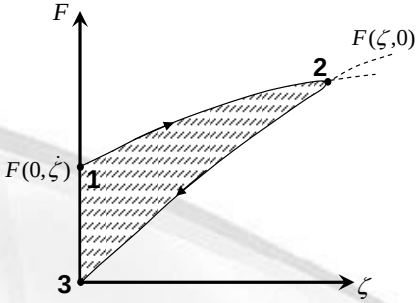
Віброударна система

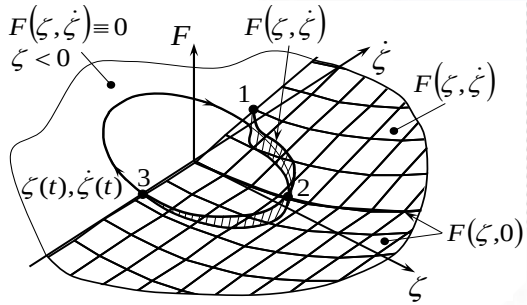


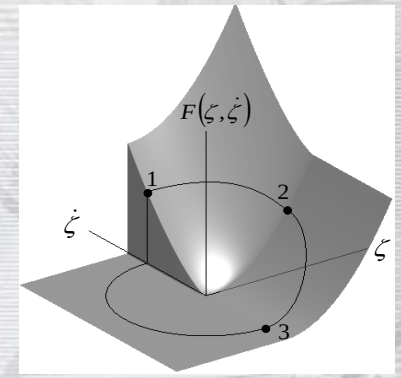
$$\begin{cases} -m_1\ddot{w}_1 + m_1 g + F_N^{\wedge}(\varsigma,\dot{\varsigma},t) - C_1 w_1 - A\omega^2 \sin\omega t = 0, \\ m_2\ddot{w}_2 - m_2 g + F_N^{\wedge}(\varsigma,\dot{\varsigma},t) = 0, \end{cases}$$

$$F(\varsigma,\dot{\varsigma}) = F(0,0) + \frac{\partial F}{\partial \varsigma}\varsigma + \frac{\partial F}{\partial \dot{\varsigma}}\dot{\varsigma} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 F}{\partial \varsigma^2}\varsigma^2 + \frac{\partial^2 F}{\partial \varsigma \dot{\varsigma}}\varsigma\dot{\varsigma} + \frac{1}{2}\frac{\partial^2 F}{\partial \dot{\varsigma}^2}\dot{\varsigma}^2 + \ldots =$$

$$= \alpha_{00} + \alpha_{10}\varsigma + \alpha_{01}\dot{\varsigma} + \alpha_{20}\varsigma^2 + \ldots.$$

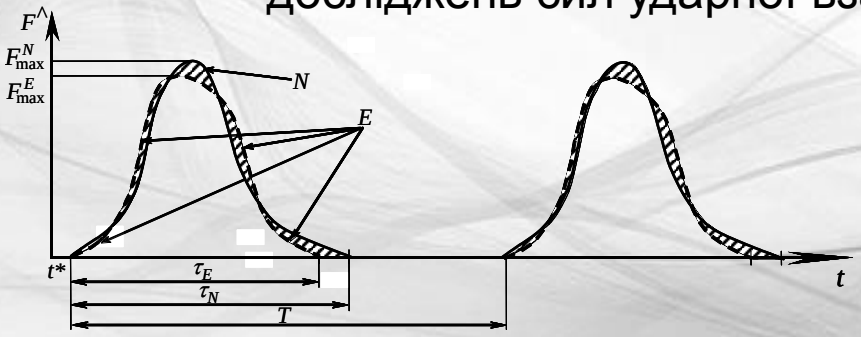






Вигляд сили ударної взаємодії у фазовому просторі

Зіставлення розподілів результатів чисельних (N) і експериментальних (E) досліджень сил ударної взаємодії у віброударній системі

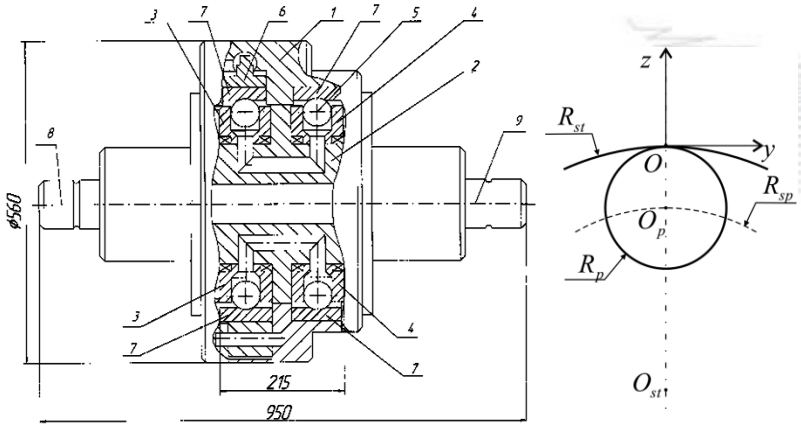


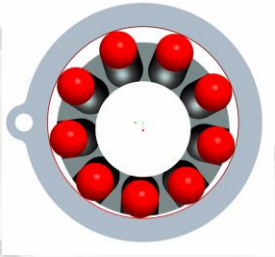
$$I_1 = \frac{\max\left|F_N^{\wedge} - F_E^{\wedge}\right|}{\max\left|F_E^{\wedge}\right|} \qquad I_2 = \frac{\int\left|F_N^{\wedge} - F_E^{\wedge}\right|dt}{\int\left|F_E^{\wedge}\right|dt}$$

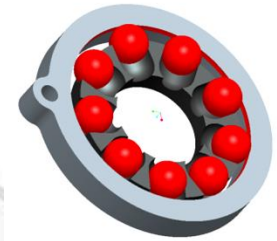
ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ

Гідрооб'ємна передача ГОП-900 танкових трансмісій

Схема гідрооб'ємної передачі



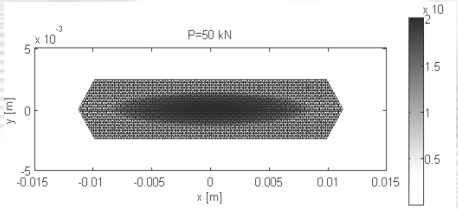


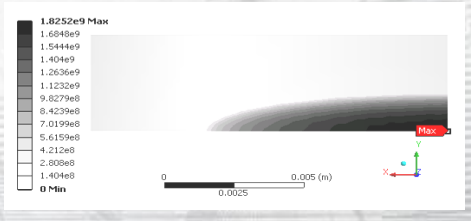


Порівняльний аналіз моделей

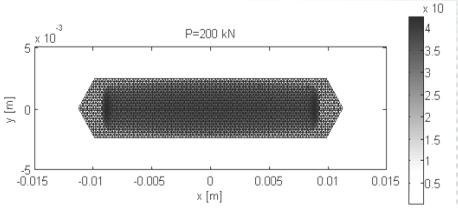
МГЕ МСЕ

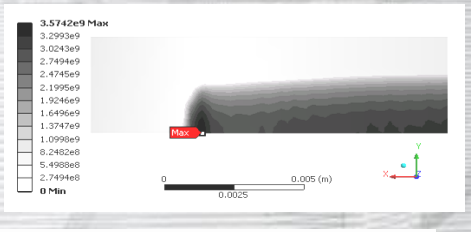
P=50 кН



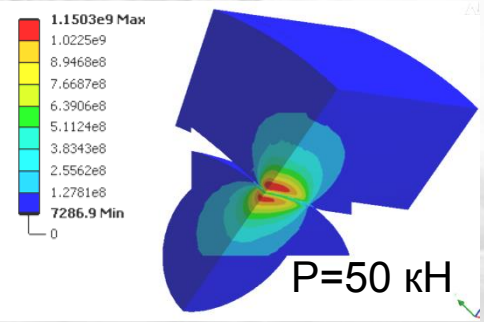


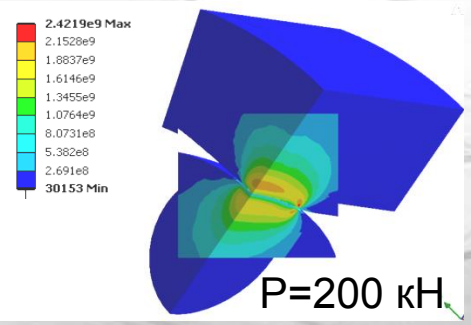
P=200 кН

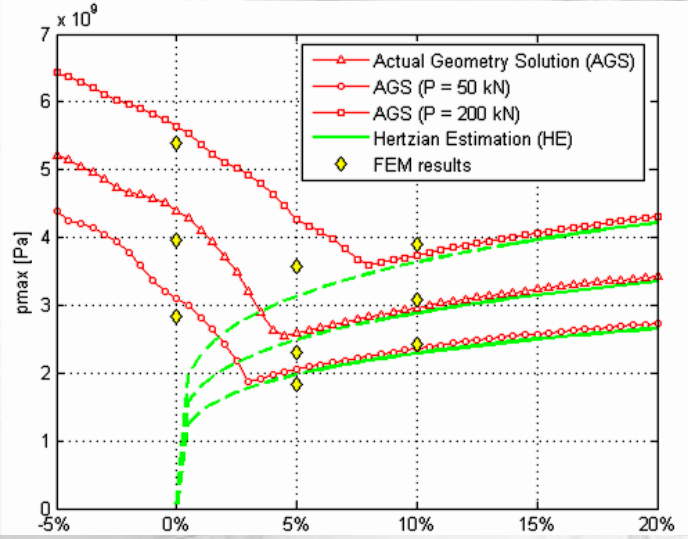




Еквівалентні напруження



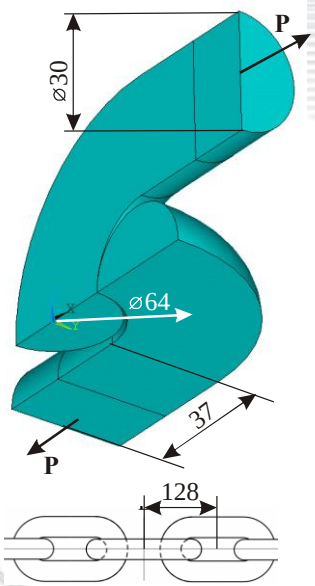




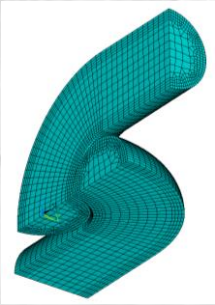
ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ

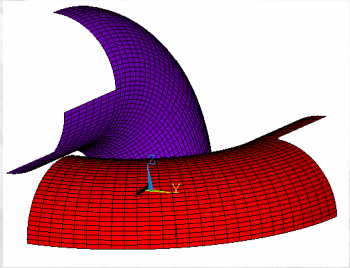
Контактна взаємодія елементів силових ланцюгів

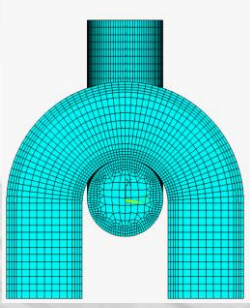
Круглоланковий ланцюг



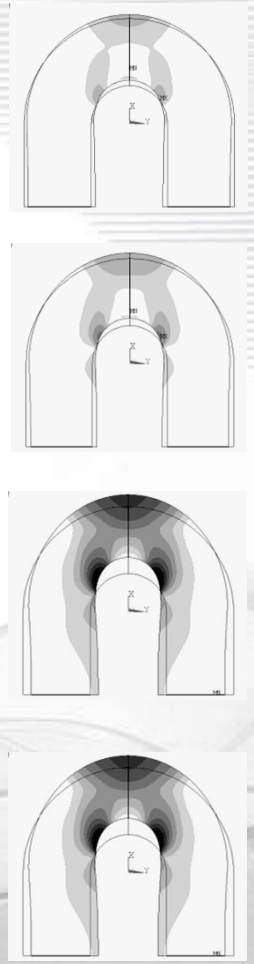
Скінченноелементна модель ланок



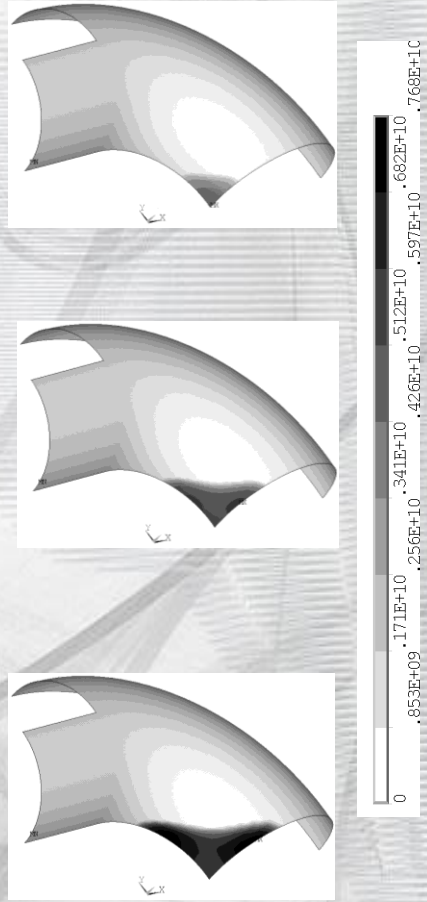




Перші головні деформації



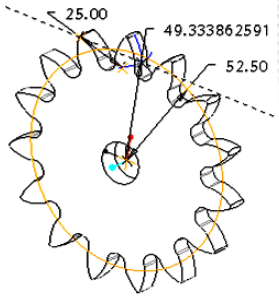
Розподіл контактного тиску

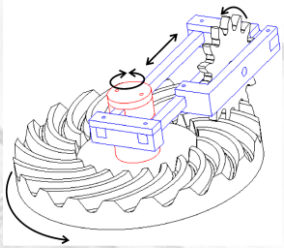


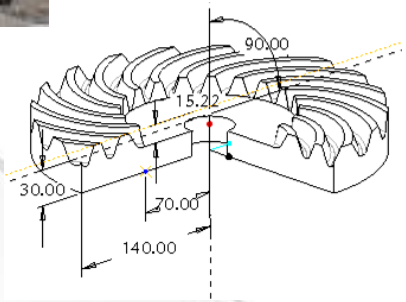
ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ

Двопараметрична передача трансмісій легкоброньованих машин

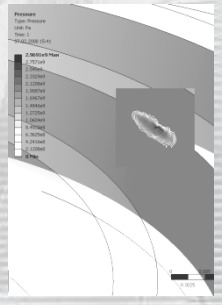
Циліндро-конічна передача

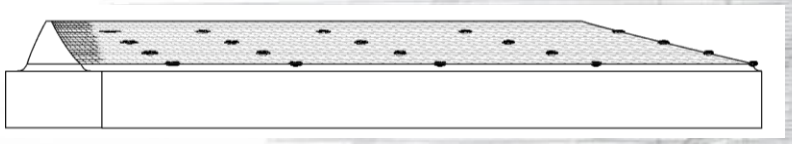




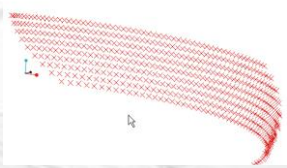


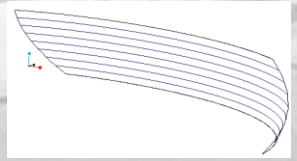
Пляма контакту на поверхні зубця



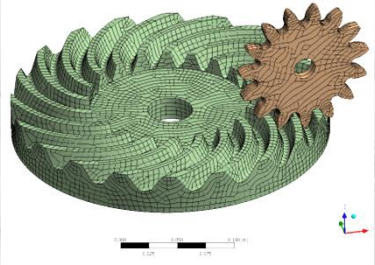


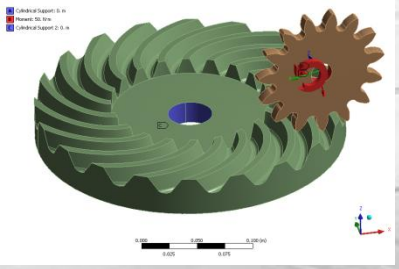
Створення прототипа





Скінченноелементна модель

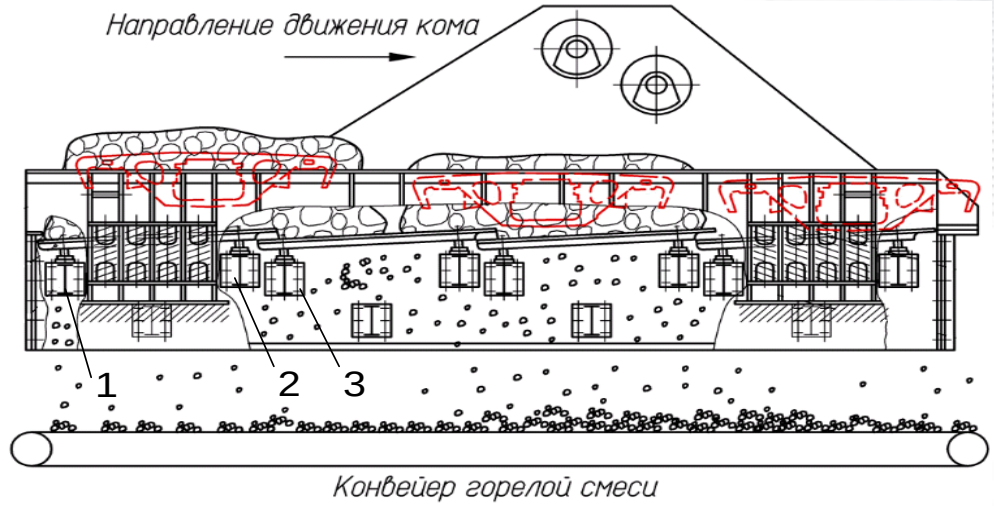




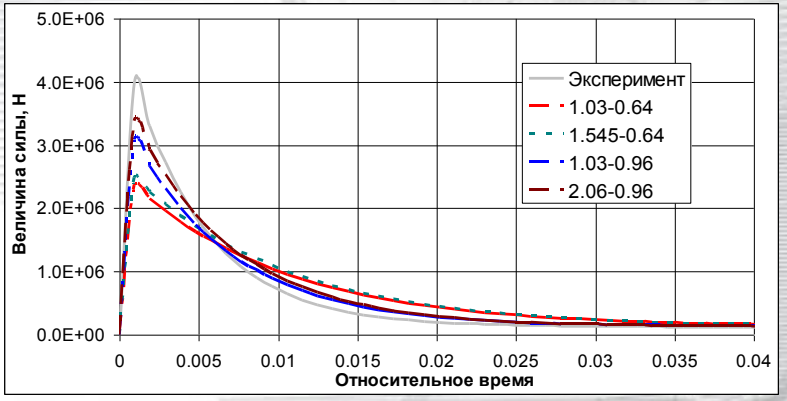
ПРИКЛАДНІ ЗАДАЧІ

Унікальна віброударна машина для вибивки крупного вагонного литва

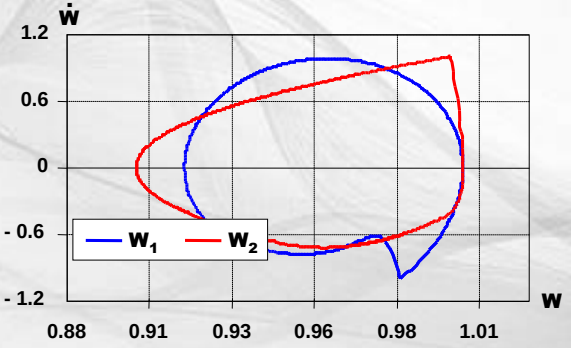
Загальна схема досліджуваної вибивної машини



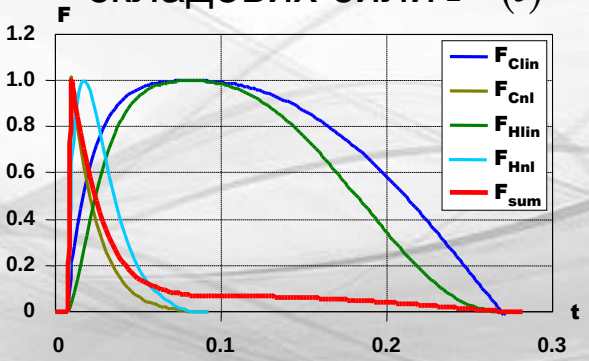
Графіки часових розподілів для різних наборів параметрів I_2



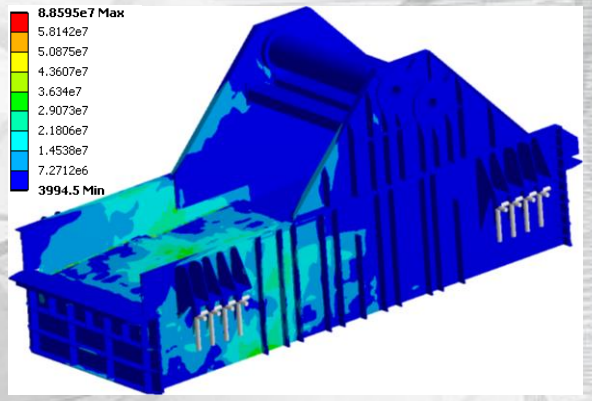
Фазові діаграми



Характер розподілу складових сили $F^{\wedge}(t)$

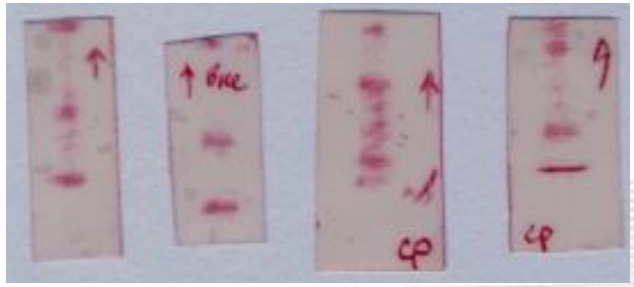


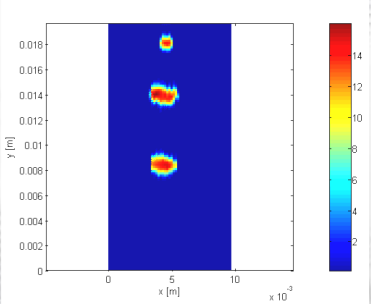
Еквівалентні напруження



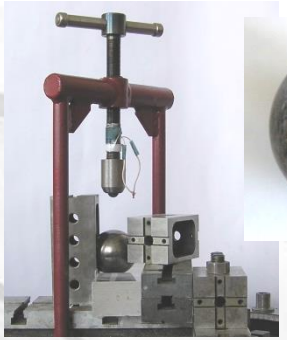
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

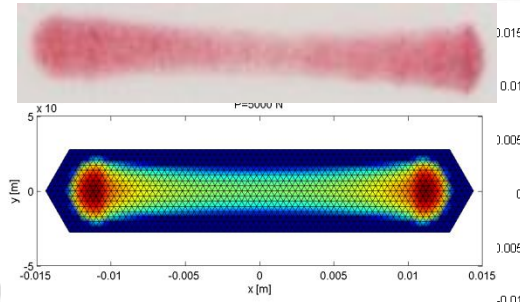
Контактні відбитки в сполученні двопараметричної передачі

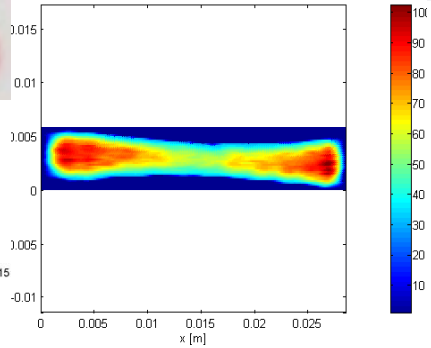


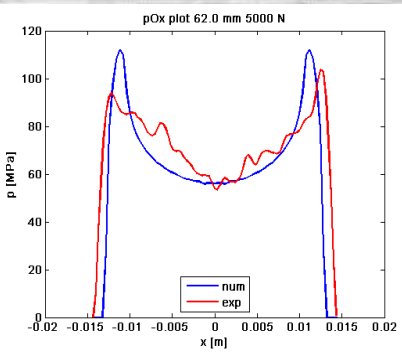


Визначення контактного тиску ГОП з використанням чутливих плівок Fujifilm

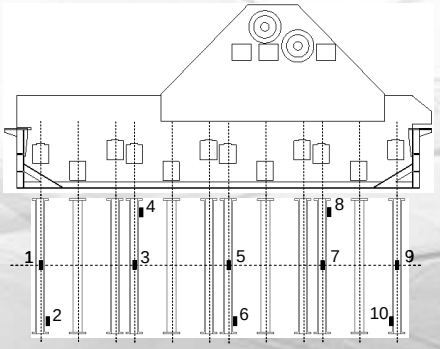


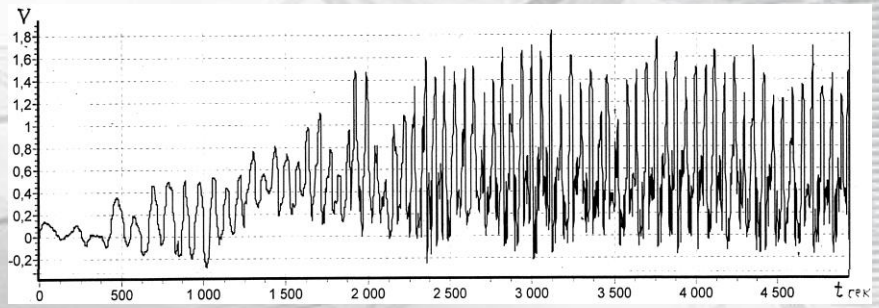






Дослідження НДС вибивної машини за допомогою тензодатчиків





ВИСНОВКИ

У роботі поставлена та розв’язана актуальна і важлива науково-практична задача забезпечення ТХ і ТТХ машин військового і цивільного призначення шляхом удосконалення методів аналізу НДС складнопрофільних тіл із урахуванням ударно-контактної взаємодії.

- Запропоновано перспективний підхід до розв’язання зв’язаної задачі дослідження НДС з урахуванням контактної взаємодії складнопрофільних тіл і синтезу КГП, що базується на єдиному описі математичної, геометричної і числової моделей. Обґрунтовано використання не одного, а комплексу методів і моделей різного рівня складності. Досліджено контакт тіл, форма яких може бути заздалегідь не визначена, як у традиційному випадку, а встановлюється у ході розв’язання спеціальної задачі їх геометричного синтезу у вигляді хмари зв’язаних точок.
- Вперше розроблено теоретичні основи визначення зусиль у віброударних динамічних системах на основі розрахунково-експериментальної ідентифікації.
- Експериментальні дослідження НДС і контактної взаємодії СПТ проводилися на спеціально розроблених стендах і дослідних зразках зубчастих передач, ланцюгових приводів, вібромашин, гідропередач танкових трансмісій. Відмінність від числових результатів не перевищує 11-16 %. Отримано повне підтвердження адекватності математичних моделей, обґрунтованості вибору методів числових досліджень, відповідності створених моделей, а також достовірність і точність одержаних результатів.

Усі результати впроваджено у виробництво із ефектом 14,7 млн.грн.