

ЗАХІДНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР НАН УКРАЇНИ І МОН УКРАЇНИ  
ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г. В. КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»  
УКРАЇНСЬКЕ ТОВАРИСТВО З МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ  
НАУКОВЕ ТОВАРИСТВО ІМЕНІ ШЕВЧЕНКА  
РЕДАКЦІЯ ЖУРНАЛУ «ФІЗИКО-ХІМІЧНА МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ»  
РЕДАКЦІЯ ЖУРНАЛУ «МАШИНОЗНАВСТВО»

# **ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*Тези доповідей*

**30 — 31 жовтня 2014 р.  
м. Львів**

**Т 33**

**УДК 531+621+669+681**

**Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій: Тези доповідей.** — Львів: КІНПАТРИ ЛТД. — 2014. — 112 с.

Опубліковані тези доповідей, виголошені авторами на 4-й Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій». До збірника увійшли праці за такою проблематикою: статика та динаміка пружних і пружно-пластичних систем, міцність та надійність машин, математичні основи теорії тріщин, машинознавство, моделювання механічних систем, технологія і автоматизація виробництва, функціональні та конструкційні матеріали, поверхнєве оброблення та захист деталей машин і конструкцій, трибологія, зварювальне виробництво, діагностика металевих конструкцій і машин, проектування, виготовлення і експлуатація транспортних засобів.

Для наукових працівників, викладачів вищих навчальних закладів, аспірантів, інженерів та студентів.

**ISBN 978-966-7585-16-7**

**Редакційна колегія:**

академік НАН України, д.ф.-м.н., проф. З. Назарчук (голова),  
к.т.н., доц. О. Зинюк (секретар), член-кореспондент НАН України, д.т.н., проф. І. Дмитрах,  
д.т.н., проф. Б. Кіндрацький, член-кореспондент НАН України, д.ф.-м.н., проф. Р. Кушнір,  
академік НАН України, д.т.н., проф. В. Панасюк, д.т.н., проф. З. Стоцько,  
д.ф.-м.н., проф. Г. Сулим

За загальною редакцією  
академіка НАН України, д.ф.-м.н., проф. Зіновія Назарчука,  
д.т.н., проф. Богдана Кіндрацького

## ПЛЕНАРНІ ЗАСІДАННЯ

### ВПЛИВ ВОДНЮ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ОБ'ЄМНУ ПОШКОДЖЕНІСТЬ БІМЕТАЛІВ

#### HYDROGEN AND TECHNOLOGICAL FACTORS EFFECT ON VOLUME DAMAGE OF BIMETALS

Зіновій Назарчук, Валентин Скальський

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.*

*Caused by hydrogen and technological factors variation of acoustic emission measure of reactor overlaying volume damage is described. To make a quantitative assessment of these factors effect the method of acoustic emission (AE) was applied. That allowed the authors to apply a previously proposed measure of AE-damage of structural materials. It is shown that overlaying resistance to delamination and volume damage under action of hydrogen high concentrations depends on the technology of protective layer application on the base metal and welded joints occurrence.*

Для виготовлення корпусів реакторів і нанесення на основний метал захисного аустенітного шару застосовують електрошлакове зварювання у місцях встановлення фланців, нанесення різних проміжних шарів, ручне і автоматичне наплавлення захисного шару на метал основи. Поряд з цим виникнення нештатних ситуацій під час тривалого їх експлуатування призводить до різних швидкостей охолодження реактора, що додатково спричинює появу механічних напружень у зоні сплавлення наплавки з основним металом. За час роботи реакторів (ядерних чи гідрокрекінгу нафти тощо) водень від внутрішньої його стінки проникає до зовнішньої, розподіляючись відповідно до коефіцієнтів розчинностей металу наплавки та основного металу. Зі зниженням температури на межі сплавлення металів накопичується велика кількість водню внаслідок значної різниці розчинностей між ними. Все це разом суттєво впливає на зародження та розвиток пошкодженості у таких біметалевих композиціях.

Випробовували зразки з наплавленням аустенітної сталі на основний метал зі сталі 15Х2МФА-А. Захисний шар наносили за різними технологіями в тому числі й за розробленою в Інституті електрозварювання ім. Є.О.Патона НАН України, електродуговим наплавленням електродною стрічкою у три проходи під флюсом марки ОФ-90. Виконували наплавлення постійним струмом зворотної полярності, без попереднього підігріву, не допускаючи перевищення температури основного металу вище 373 К. Після цього дослідні пластини термообробляли за режимом: відпуск 875 К протягом 28,8 кс та повторний відпуск 925 К і 5,4 кс. Для виготовлення дослідних зразків кожну пластину розрізали на заготовки і обробляли механічно. Кінцево їх діаметр становив 80 мм, висота 45 мм, а товщина наплавленого шару 6...8 мм. Наводнювання здійснювали газоподібним воднем у спеціальному автоклаві за схемою, максимально наближеною до режиму роботи реактора. Після насичення воднем зразки охолоджували разом з автоклавом до температури приблизно 520 К, а потім – на повітрі з різною швидкістю. Тріщиноутворення фіксували за сигналами АЕ відразу після досягнення вказаної температури. Отримані результати досліджень показали ефективність використання методики для встановлення кількісних показників впливу водневого чинника і технологічних впливів, які діють під час виготовлення та експлуатування корпусів реакторів, на відшарування наплавки від основного металу, застосовуючи запропоновану авторами АЕ-міру об'ємної пошкодженості [1].

1. Скальський В.Р., Андрейків О.Є. Оцінка об'ємної пошкодженості матеріалів методом акустичної емісії. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2006. – 330 с.

## ДІАГНОСТУВАННЯ ВІБРАЦІЙ, ТЕРМОМІЦНОСТІ І РЕСУРСУ ВУЗЛІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ АГРЕГАТІВ

### DIAGNOSTICS OF VIBRATION, THERMAL STRENGTH AND UNIT RESOURCE OF HEAT POWER UNITS

Микола Шульженко

*Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України,  
вул. Дм. Пожарського 2/10, м. Харків, 61046, Україна.*

*Solutions of dynamic and strength problems of units and constructions that are associated with development and operation of high power rotors are treated in this paper. Examples of usage of research results in the design, modernization and operation of turbines are shown.*

На теперішній час понад 70 % паротурбінних агрегатів електростанцій України відпрацювали не тільки парковий, а вже й продовжений ресурси. Тому їхня подальша експлуатація пов'язана з все більше зростаючим ризиком аварій, у зв'язку з чим актуальність питання діагностування технічного стану та можливості продовження терміну безпечної експлуатації та модернізації працюючих турбоагрегатів невинно зростає.

В ІПМаш НАН України на основі фундаментальних наукових досягнень створено автоматизовані системи діагностування вібростану турбоагрегатів та систем їх захисту при підвищеній вібрації, які впроваджено на декількох енергоблоках великої потужності. Вони забезпечують автоматизоване виявлення несправностей агрегату, які зумовлюють зміну вібрації і можуть досягти небезпечного рівня. За своїми функціональними можливостями і технічними характеристиками ці системи відповідають усім вимогам керівних документів з експлуатації електростанцій, що діють в Україні.

Для оцінки ресурсу працюючих паротурбінних агрегатів на замовлення Міненерговугілля України на основі сучасних наукових досягнень у галузі термоміцності та тріщиностійкості високотемпературних елементів створено нормативний документ «Визначення розрахункового ресурсу та оцінка живучості роторів і корпусних деталей турбін. Методичні вказівки», який набув чинності в 2011 році.

На його основі вперше в Україні створено експериментально-розрахункову систему оперативного автоматизованого діагностування термонапруженого стану та оцінки спрацювання ресурсу (лічильник ресурсу) ротора високого тиску турбіни Т-250/300 з використанням експериментальних параметрів тепломеханічного стану, що визначаються за допомогою АСУ ТП. Аналіз термонапруженого стану та спрацювання ресурсу ротора здійснюється при експлуатації турбіни за фактичними режимами роботи на протязі всього терміну діагностування обладнання.

З використанням створених розрахункових методів діагностування динаміки, міцності та пошкоджуваності елементів парових турбін і іншого обладнання [1] отримано низку важливих практичних результатів. За тривимірними моделями встановлено нові дані при вплив різних чинників на надійність роботи вузлів агрегатів, що враховуються при їх проектуванні та модернізації.

1. Шульженко Н.Г. Задачи термпрочности, вибродиагностики и ресурса энергоагрегатов (модели, методы, результаты исследований): монография / Н.Г. Шульженко, П.П. Гонтаровский, Б.Ф. Зайцев. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 370 с.

## ОЦІНЮВАННЯ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО РЕСУРСУ ЕЛЕМЕНТІВ ДІЮЧОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### ESTIMATION OF STRESS STATE AND OPERATIONAL LIFE OF OPERATING ENERGETIC EQUIPMENT ELEMENTS

Роман Кушнір, Олександр Гачкевич, Богдан Дробенко

*Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України,  
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна.*

*An approach for determination of the stress-strain state of acting energetic units elements and for the study of a possibility of their further exploitation is considered. The stress state of elements of power plants of PAO DTEK "ZakhidEnergo" is studied. Recommendations on repair technologies in order to extend their service life and conclusions about possible extension of service life over the routine period are developed*

Надійність енергетичного обладнання забезпечують шляхом оцінки багатьох параметрів, що окреслюють різноманітні його характеристики. При цьому на перший план виходять параметри напруженого стану окремих його вузлів і елементів за умов, які відповідають експлуатаційним. Дані про напружено-деформований стан конструктивних елементів за умов експлуатації враховують при прийнятті рішень про подальше їх використання чи заміну, а також при оцінці впливу ремонтних заходів на можливість подовження термінів експлуатації таких елементів.

Оцінки напруженого стану елементів складної геометричної форми на основі відомих інженерних розрахункових методик, використовуваних в енергетичній галузі, часто мають істотні похибки, оскільки не враховується реальна форма елементів енергетичного обладнання після ремонтних втручань, форма та локалізація експлуатаційних пошкоджень, а також зміна властивостей матеріалів конструктивних елементів в процесі їх тривалої експлуатації за дії високого тиску, підвищеної температури, корозійно-активного середовища та циклічних навантажень. Тому актуальною є розробка уточнених методик розрахунку напруженого стану елементів енергетичного обладнання за врахування вище зазначених чинників та формування на цій основі рекомендацій по вибору технологічних параметрів ремонтних робіт з метою мінімізації наслідків їх впливу на міцність і функціональність енергетичного обладнання. Особливого значення набуває проблема визначення придатності обладнання до подальшої експлуатації та оцінка його використання понад норми, гарантовані на момент інсталяції чи початку експлуатації, оскільки значна частина з них вже відпрацювала свій парковий ресурс, або підійшла до цієї межі. Сформульовані проблеми можуть бути вирішені з використанням засобів математичного моделювання на основі теорії термомеханіки з використанням сучасних числових методів та відповідного програмного забезпечення.

Подано результати досліджень напружено-деформованого стану діючих конструктивних елементів енергоблоків ТЕС ПАТ ДТЕК «Західенерго», виконаних на основі співвідношень теорії неізотермічного термопружно-пластичного течіння з використанням методу скінченних елементів [1]. Сформульовано чисельно обґрунтовані пропозиції по регламенту ремонтних робіт, що мінімізують рівень післяремонтного підвищення напружень. Отримано оцінку залишкового ресурсу барабанів котлів шляхом визначення їх стану за рівнем накопиченої пошкоджуваності металу. Отримані теоретичні оцінки накопиченої пошкоджуваності стали основою наукового обґрунтування подовження на прогнозований термін тривалості експлуатації барабанів, які вже вичерпали свій паспортний ресурс.

1. *Моделювання та оптимізація в термомеханіці електропровідних неоднорідних тіл / Під заг. ред. Я.Й. Бурака, Р.М. Кушніра. Т.4: Термомеханіка намагнечуваних електропровідних термочутливих тіл / О.Р. Гачкевич, Б.Д. Дробенко – Львів: СПОЛОМ, 2010. – 256 с.*

## **ЗАЛИШКОВИЙ РЕСУРС ТРУБОК ПАРОГЕНЕРАТОРА РЕАКТОРА ВВЕР-1000**

### **VVER-1000 REACTOR STEAM GENERATOR TUBES RESIDUAL RESOURCE**

**Олександр Андрейків, Володимир Кухар, Надія Яворська**

*Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна.*

*The analysis of factors that appears during PWR type reactor operation was performed. New model for calculating residual life of primary coolant loop pipeline were proposed. Calculations for VVER-1000 nuclear reactor were made. Good engineering applicable results were obtained.*

Водо-водяні енергетичні реактори (ВВЕР, англ. PWR – Pressurized Water Reactor), найрозповсюдженіший тип реакторів на всіх західних АЕС, складають основу атомної енергетики. Особливістю їхньої конструкції є використання рідкої води, як теплоносія і сповільнювача нейтронів. Внаслідок цього для отримання необхідного коефіцієнта корисної дії та запобігання закипання води при високих температурах (320°C на виході, 289°C на вході в реактор для реактора ВВЕР-1000) у контурі підтримується постійно високий тиск (17,5 МПа і вище). Такий тиск у взаємодії з високою температурою, нейтронним опроміненням та корозійним середовищем є основним чинником, що призводить до зародження і поширення дефектів типу тріщин у трубках первинного контуру.

Саме тому в даній роботі зроблена спроба на основі енергетичного підходу побудувати модель для визначення залишкової довговічності труби з заданою тріщиною з урахуванням дії чинників, що спостерігаються в первинному контурі при експлуатації ядерного реактора.

Для побудови моделі спочатку розглядається пластина, послаблена тріщиною, що знаходиться під дією постійного статичного навантаження, високої температури, нейтронного опромінення та корозійного середовища.

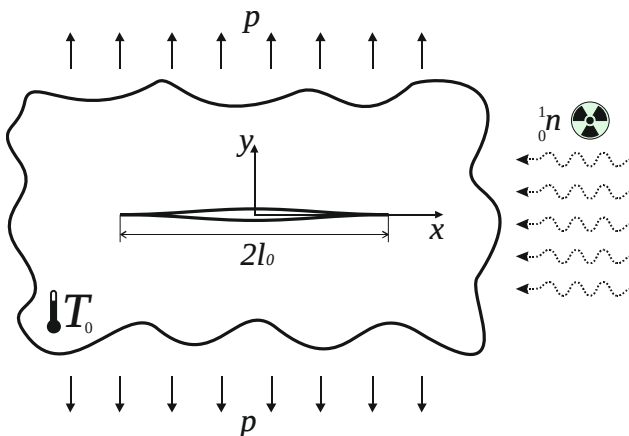


Рис. 1. Модель послабленої тріщиною пластини

Для елементарного акту поширення тріщини записується перший закон термодинаміки – рівняння енергетичного балансу та рівняння балансу швидкостей змін енергій. Звідти, розписавши всі енергетичні компоненти, можна записати рівняння для швидкості поширення тріщини при заповільненому руйнуванні:

$$\frac{dl}{dt} = \left[ \frac{\partial W_p}{\partial t} \right]_{t=t_c} / (\gamma_c - \gamma_t). \quad (1)$$

Вводиться припущення, що основний вклад у деформацію зони передруйнування вносить високотемпературна повзучість, а інші чинники, зокрема нейтронне опромінення, лише інтенсифікують цей процес.

Тому, аналізуючи роботи Кірсанова, Gilbert and Bates та інших, ми записуємо швидкість повзучості, з урахуванням впливу нейтронного опромінення, та аналогічним чином отримуємо вираз для розкриття тріщини  $\delta$ . Підставивши його в (1), ввівши припущення макроскопічності тріщини та додавши початкову і кінцеву умови, отримаємо модель для визначення довговічності пластини.

За допомогою цієї моделі пораховано довговічність трубки парогенератора реактора ВВЕР-1000 при заданих параметрах пошкодження. Отримані графічні залежності ілюструють важливість врахування впливу нейтронного опромінення та інших чинників при прогнозуванні довговічності.

## ОЦІНЮВАННЯ ТА ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ХАРАКТЕРИСТИК АДГЕЗІЙНОЇ МІЦНОСТІ, ПРУЖНОСТІ ТА ТРІЩИНОСТІЙКОСТІ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ГАЗОТЕРМІЧНИХ ПОКРИТТІВ

### ESTIMATION AND CORRELATION OF ADHESION STRENGTH, ELASTICITY AND FRACTURE TOUGHNESS CHARACTERISTICS OF MULTICOMPONENT THERMALLY SPRAYED COATINGS

Вячеслав Копилов<sup>1</sup>, Дмитро Антоненко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
просп. Перемоги 37, м. Київ, 03056, Україна;

<sup>2</sup>Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона,  
вул. Казимира Малевича, м. Київ, 03680, Україна.

The procedure of determination of fracture toughness of coating and coating-substrate interfacial area was presented. The methodology of elasticity modulus determination by mean of method of internal

*friction was suggested. The values of fracture toughness coefficient for a number of coatings with different types of fracture were obtained.*

Важливими з точки зору експлуатаційних характеристик матеріалів з покриттями є показники адгезійної міцності, пружності, тріщиностійкості тощо. Особлива увага звертається на системи покриттів з наявними в їх складі крихкими складовими у вигляді оксидів, карбідів, боридів. Такі системи мають велику схильність до розтріскування та/або відшарування покриття. Тому необхідно виділити умови, при яких може відбуватися руйнування, та визначити систему критеріїв, відповідальних за певний його характер в умовах прикладення зовнішнього навантаження.

Метою роботи є розроблення методики визначення адгезійної міцності (міжфазної тріщиностійкості), тріщиностійкості самого покриття та модулів пружності деяких систем покриттів різного хімічного та фракційного складу.

Досліджувалися плазмові покриття традиційного складу (Mo, NiAl, NiCr, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), а також багатокомпонентні покриття на їхній основі з додаванням високодисперсного оксиду кремнію SiO<sub>2</sub>. В якості основи виступала низьковуглецева сталь.

Визначення параметрів тріщиностійкості системи основа-покриття проводилося в умовах триточкового згину плоских зразків з плазмовими покриттями розмірами 10×80×1 мм (товщина покриття 150 – 200 мкм). На кривих згину та візуальними спостереженнями фіксувався момент утворення тріщини(-н). В залежності від утвореної тріщини розроблені методики розрахунку тріщиностійкості покриття  $K_{IC}^P$  та міжфазної тріщиностійкості  $K_{IC}^{мф}$ , відповідальної за адгезійну міцність покриття, а також супутні їм значення інтенсивності вивільненої енергії при утворенні тріщини.

У розрахунках тріщиностійкості важливим параметром є модуль пружності покриття. Його визначення дещо ускладнене наявністю великої кількості нещільностей у структурі покриття. Тому був застосований структурно чутливий метод внутрішнього тертя, заснований на фіксуванні амплітуд затухання пружних крутильних коливань зразків з покриттями. За допомогою розробленої методики були розраховані модулі пружності для Mo – 89 ГПа, NiAl – 150 ГПа, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 64 ГПа, NiAl-SiO<sub>2</sub> – 160 ГПа.

Розроблена методика дала можливість отримати показники тріщиностійкості відповідальні за руйнування самого покриття та межі розділу основа-покриття. Наприклад, для системи NiAl-SiO<sub>2</sub> характерне розтріскування тільки покриття без відшарування для заданого навантаження ( $K_{IC}^P=10 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$ ).

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТАКТИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГКОБРОНЬОВАНИХ МАШИН

### JUSTIFICATION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR PROVIDING OF TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF LIGHT-ARMORED VEHICLES

Микола Ткачук<sup>1</sup>, Олександр Литвиненко<sup>2</sup>, Андрій Грабовський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна;

<sup>2</sup>Науково-інженерний центр керуючої компанії «Рейлтрансхолдінг»,  
вул. Волгоградська, 24, м. Маріуполь, 87502, Україна.

*The work describes the basic formulation of the problem of design and technological providing of tactical and technical characteristics of light-armored vehicles through the justification of their solutions and parameters of armored hulls with using of CAD/CAM/CAE systems.*

У роботі описана загальна постановка проблеми проектно-технологічного забезпечення тактико-технічних характеристик (ТТХ) легкоброньованих машин (ЛБМ) за рахунок обґрунтування рішень та параметрів їхніх бронекорпусів із залученням можливостей CAD/CAM/CAE.

Аналіз стану проектування і використання військових гусеничних і колісних машин свідчить про те, що масштабна проблема забезпечення захищеності бронекорпусів сучасних бойових машин

вирішується різними засобами, забезпечується на різних рівнях і різною мірою, моделюється різноманітними засобами, у тому числі – аналітичними, числовими і експериментальними методами. Серед всього арсеналу способів забезпечення захищеності елементів корпусів бойових машин не приділяється належної уваги саме проектно-технологічним рішенням та параметрам.

У той же час, хоча ТТХ ЛБМ розраховуються і закладаються на етапі конструювання, а реалізуються в ході бойового застосування і експлуатації бойових машин, проте фізичне втілення «в металі» і забезпечення в комплексі свої компоненти вони одержують у ході технологічної підготовки і виготовлення. Дійсно, хронологічно послідовність етапів життєвого циклу «тактико-технічні вимоги – утилізація виробу» для військових гусеничних і колісних машин можна представити у вигляді лінійної діаграми. Результуючий рівень ТТХ при цьому визначається нижнім рівнем компонент на всіх етапах. Таким чином, як відносні провали одного з цих рівнів порівняно з іншими, так і піднесення однаково шкідливі з точки зору кінцевого результату. Отже, технологія, образно кажучи, повинна забезпечувати проектні тактико-технічні характеристики, а виготовлення – втілювати реальні ТТХ, і все – приблизно на заданому тактико-технічними вимогами рівні.

### ПРОЕКТУВАННЯ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

#### DESIGN OF METAL CONSTRUCTIONS AGRICULTURAL MACHINES TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATIONAL FACTORS

**Тимофій Рибак, Ігор Бортник, Василь Миць**

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001, Україна.*

*Established the solutions of fertilizers, unlike their dry concentrates, causing local corrosion damage mechanical engineering steels. Investigated the corrosion activity of certain agricultural environments and proposes measures to improve security details.*

Для підвищення врожайності сільськогосподарських культур необхідне інтенсивне внесення в ґрунт мінеральних добрив. Робочий період машин для внесення добрив становить біля 20% всього часу. Очевидно, важливим завданням якісного збереження машин для внесення мінеральних добрив у робочому стані є їх консервація в міжсезонний період. Це завдання досягається, перш за все, якісним очищенням обладнання від залишків добрив. Концентрація вологи та екстракція агресивних компонентів добрив веде до появи корозійних пошкоджень. Корозія сільськогосподарських машин виявляється у незначній мірі у масових втратах металу та погіршенні функціональних властивостей вузлів та деталей. Це, зокрема, стосується контактів ланок ланцюгів, горизонтальних транспортерів, несучих рам, бункерів і робочих органів.

І хоча масові втрати металу в машинах для внесення добрив незначні, технічний стан прокородованих деталей впливає на роботопридатність агрегату в цілому, максимальну небезпеку для надійності несе поєднання корозійного чинника та циклічних і ударних навантажень. Термін служби машин при цьому може скоротитись на 40 – 60%.

Тому, для несучих конструкцій розкидачів мінеральних добрив рекомендується використовувати якісні сталі. Після завершення сезонних робіт з внесення мінеральних добрив у ґрунти потрібно вивести на ремонтний майданчик розкидач для здійснення таких операцій:

- механічним способом очистити рухомі деталі розкидачів від залишків мінеральних добрив;
- з допомогою спрямованого потоку слаболужного розчину кальцинованої соди змити залишки добрив, висушити поверхню потоком гарячого повітря;
- оглянути деталі розкидачів та виявити пошкодження лакофарбових покриттів, видалити старі пошкоджені лакофарбові покриття механічним або хімічним способом;
- зачищені місця знежирити, після висихання повторно зачистити поверхню та нанести ґрунтовку. Вибір ґрунтовки здійснювати у відповідності до первинної заводської технологічної карти (ґрунтовки типу ГФ-073; ВЛ-02; ВЛ-08; ВЛ-023, ПФ-033);



- на висушену ґрунтовку нанести лакофарбове покриття заданої в'язкості, вибір фарби для відновлення покриття здійснювати відповідно до матеріалу існуючого покриття, враховуючи, що найбільш корозивно-тривкими та стійкими до мастил і бензинів є емалі ХС-119, ПФ-133, ГФ-1147, які в умовах помірного клімату не руйнуються три і більше років;

- провести консервацію незахищених лакофарбовими покриттями деталей оливно-мастильними матеріалами.

Реалізація перерахованих заходів забезпечить розкидачам добрив захист від корозійного руйнування не лише в стоянковий період, але й на час експлуатації.

## **ПРОБЛЕМИ МІЦНОСТІ ПРИ РОЗРОБЛЕННІ Й ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ВІДПРАЦЮВАННІ ОБ'ЄКТІВ РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

### **PROBLEMS OF STRENGTH AT DESIGN AND EXPERIMENTAL WORKING THE OBJECTS OF SPACE-ROCKET TECHNIQUE**

**Володимир Сіренко, Володимир Харченко**

*Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»,  
вул. Криворізька, 3, м. Дніпропетровськ, 49008, Україна.*

*Historical aspects of the formulation and solving problems of calculation and operation structures ensuring the strength of constructions at of space-rocket technology are presented. A new problem questions of strength for constructions which have been before designers of space-rocket technique now are delivered and characterized.*

Бурхливий розвиток у світі в шістдесятих – дев'яностих роках минулого століття ракетної техніки зумовив появу специфічних проблем у галузі міцності, вирішення котрих потребує розроблення нових методів розрахунку (як аналітичних, так і чисельних) і відповідного надійного та ефективного програмного забезпечення, розвитку й вдосконалення нормативної бази для оцінювання міцності ракетних конструкцій, а також створення високопродуктивних обчислювальних комплексів для розв'язання нових завдань механіки.

У цей період для вирішення завдань з нормативного, методичного та програмного забезпечення розрахунків на міцність розроблюваної ракетної техніки ДП «КБ «Південне» широко залучало провідні наукові академічні й галузеві установи країни.

У ці ж роки міцність ракетних конструкцій внаслідок недостатньої точності розв'язання задач міцності через їх складність, невисокої продуктивності обчислювальних засобів, відсутності необхідного обсягу даних про фізико-механічні характеристики використовуваних матеріалів і належного досвіду забезпечувалася проведенням великих обсягів експериментальних відпрацювань.

В останнє десятиліття, після деякого відносного затишшя, ДП «КБ «Південне» активно розробляє нові зразки ракетно-космічної техніки, як у рамках українських і міжнародних проектів, так і для зарубіжних замовників. У зв'язку з цим виникла низка нових завдань у галузі міцності, зумовлених застосуванням нових конструкційних матеріалів. Їхнє ефективне вирішення, а також світова тенденція до скорочення обсягів і термінів експериментальних відпрацювань потребують підвищення достовірності міцнісних розрахунків і мінімізації часу їх виконання.

Для вирішення проблемних питань міцності, що стоять перед підприємством, розроблені Плани спільної науково-дослідної діяльності ДП «КБ «Південне» і наукових установ НАН України та установ Міністерства освіти та науки України на 2013 і наступні роки. Співпрацюючи з науковими установами ДП «КБ «Південне» вирішує складні проблемні питання міцності в області композиційних матеріалів (розроблення методик розрахунку властивостей матеріалів з урахуванням технології їх виготовлення, розроблення критеріїв руйнування багатошарових композиційних конструкцій з концентраторами напружень, розрахунку конструкцій з урахуванням залежності властивостей матеріалів від температури і передісторії навантаження), оболонок з укріпленими отворами довільної форми, термоміцності та стійкості конструкцій до вібраційної дії та ін. Впровадження сучасних методик розрахунку та їх верифікація з врахуванням результатів попередніх експериментальних випробувань дозволяє ДП «КБ «Південне» оптимізувати обсяг і терміни

експериментального відпрацювання конструкцій, зменшити кількість об'єктів випробувань без зниження їхньої надійності.

У запропонованій доповіді висвітлені історичні аспекти постановки і розв'язання завдань розрахункового й експлуатаційного забезпечення міцності конструкцій при розробленні ракетно-космічної техніки в ДП «КБ «Південне». Поставлені та охарактеризовані нові проблемні питання, які виникли перед розробниками ракетно-космічної техніки на етапах проектування, експериментального відпрацювання та експлуатації: в галузях методичного та програмного забезпечення розрахунків, досліджень механічних характеристик нових перспективних матеріалів, стійкості ракетних конструкцій до термосилового навантаження та вібраційної дії.

## СЕКЦІЯ 1

### МОДЕЛЮВАННЯ, СИНТЕЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ

#### КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЗМУ МАЩЕННЯ УПОРНОГО КОЛОДКОВОГО ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ

COMPUTER SIMULATION OF LUBRICATION MECHANISM OF TILTING-PAD THRUST BEARING

**Дмитро Боярський, Андрій Загорулько**

*Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.*

*The purpose of work was the computer (geometric and mesh) models creation, the lubrication mechanism simulation and pressure and oil temperature fields in gap obtaining by using ANSYS CFX program needed for analysis of bearing capacity value and thermal state of tilting-pad thrust bearing.*

Однією з основних задач при розробленні й експлуатації турбокомпресорних агрегатів є забезпечення осьової стійкості роторів. Упорні підшипники повинні надійно утримувати незрівноважені осьові сили, що виникають при будь-яких можливих режимах роботи турбокомпресорних агрегатів (ТКА). У процесі експлуатації ТКА відбуваються зміни в ущільнювальних зазорах у проточних частинах і, відповідно, відбувається перерозподіл тиску, що призводить до істотного відхилення умов роботи упорного підшипника від тих, на які він проектувався.

Проблеми підвищення несучої здатності упорних підшипників присвячені численні науково-технічні дослідження, проте запропонованих заходів і рекомендацій з удосконалення виявляється недостатньо для того, щоб повною мірою компенсувати зростання навантажень на упорні підшипники і забезпечити надійну та економічну роботу цих вузлів у всьому діапазоні режимів експлуатації.

Складні умови роботи підшипників обумовлені великими коловими швидкостями на поверхні ковзання, а також змінними аеродинамічними навантаженнями, діючими на ротори і здатними при взаємодії з гідродинамічними силами в підшипнику викликати неприпустимі вібрації в турбінах, турбокомпресорах, турбохолодильних машинах та інших агрегатах. Великі колові швидкості в підшипнику призводять до значних механічних втрат енергії, що позначається на загальних економічних втратах енергії, що в свою чергу впливає на загальні економічні показники агрегату. Метою роботи було створення комп'ютерної (геометричної і сіткової) моделей, моделювання механізму мащення та отримання полів тисків і температур мастила в зазорі в програмному комплексі ANSYS CFX, необхідних для аналізу величини несучої здатності і теплового стану упорного колодкового підшипника ковзання.

#### ГЕОМЕТРИЧНИЙ СИНТЕЗ НАСОСА КОЧЕННЯ

GEOMETRICAL SYNTHESIS OF PUMP ROLLING

**Микола Воробйов, Денис Прокопенко**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The new type of hydraulic pump with usage of Rolamite mechanism and electromagnet as a drive is being considered in this report. This construction allows to transfer motion in a closed space, to renounce the usage of seals, bearings. Analytical dependences of the securement of the mechanism's efficiency are being derived.*

З метою уникнення негативного впливу на якісні показники існуючих ротаційних об'ємних гідронасосів таких недоліків, як наявність радіального зазору та використання опор обертання за межами робочої зони нами синтезований принципово новий ротаційний насос.

У ньому використаний вдосконалений нами механізм Rolamite. Це вдосконалення полягає у ексцентричному розташуванні нерухомих опор кочення. Робочими елементами в новому насосі є робочі та розподільчі ролики, котрі виконані з діелектричного матеріалу, крім одного робочого, який виготовлений з феромагнітного матеріалу, і розділені нескінченною діелектричною пружною тонкою стрічкою. Розподільчим роликам надана можливість взаємодіяти коченням з нерухомою віссю, яка ексцентрично закріплена в корпусі, а робочим – коченням по внутрішній його поверхні. Постійний контакт робочих роликів з циліндричною поверхнею, а розподільчих з віссю корпусу та охоплення роликів стрічкою дозволяє уникнути втрат рідини через наявність радіального зазору, що дозволяє підвищити продуктивність насосу. В якості приводу використаний електромагніт, виконаний за принципом ротора кочення, при вмиканні якого виникає біжуче магнітне поле. Це дозволяє: 1 – тілам кочення виконувати подвійну функцію – опори кочення та відсікання порції рідини; 2 – отримувати обертотворний рух робочих елементів у замкнутому просторі, що вирішує питання герметизації робочої зони та уникнення витрат миттєвої подачі через виток рідини у радіальних зазорах. У результаті синтезу визначені умови для забезпечення працездатності насоса (а саме, умова розташування стрічки не по колу, умова відсутності провалу, умова відсутності торкання стрічки робочого ролика, умова відсутності торкання робочих та розподільчих роликів попарно між собою, умова мінімізації кількості роликів), оптимальне розміщення впускних і випускних вікон, поточна зміна об'єму робочих камер.

Додатковою перевагою є те, що відбувається процес намагнічення рідини, що дозволяє зменшити корозію металевих елементів насоса та трубопроводів. Наприклад, встановлено, що використання намагніченої води у бетонних розчинах підвищує міцність бетону на 10 – 25%, значно сповільнює утворення накипу та покращує очистку від накипу, що актуально в теплообмінних системах.

Як відомо, методи магнітної обробки обводненої нафти застосовують також для зменшення відкладень смол та парафіну на стінках нафтопромислового обладнання.

## **ПРОЕКТУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ГАСНИКІВ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ВИСОТНИХ СПОРУД ТА ПОДОВГАСТИХ КОНСТРУКЦІЙ**

### **DYNAMIC VIBRATION ABSORBERS DESIGN FOR HIGH BUILDING AND ELONGATED CONSTRUCTIONS**

**Богдан Дівесв<sup>1</sup>, Віктор Мартин<sup>1</sup>, Ігор Дорош<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;  
ПП «Дора»,  
вул. Городоцька, 197, м. Львів, 79015, Україна.

*The paper deals with the methods of calculation of vibration processes in elongated constructions with dynamic vibration absorbers. Mathematical model for the sensitive element vibration level decreasing by means of optimal designed dynamic vibration absorbers is proposed.*

Важливим питанням розроблення сучасних висотних споруд є зменшення коливань. Традиційні методи віброізоляції часто стають недостатньо ефективними, особливо для такого класу машин, як обприскувачі з великогабаритною штангою, пересувні бурові установки, пожежні машини з великогабаритною стрілою, висотні споруди тощо. Ефективним у цьому випадку може стати

застосування динамічного гасника коливань (ДГК) [1]. Для гасіння коливань такого типу об'єктів у низькочастотному діапазоні широке застосування знаходять ДГК різного, переважно маятникового типу [1, 2]. У [3 – 6] запропоновано адаптивний метод розрахунку складних конструкцій з використанням МСК на початковому етапі для визначення форм та частот коливань елементів конструкцій, які моделюються континуальними схемами. Цей спосіб дозволяє отримувати малопараметричні доступні для аналізу моделі. В даній роботі запропоновані дві розрахункові схеми взаємодії подовгастого континуального елемента з дискретними: 1 – подовгастий елемент моделюється як балка Тимошенка змінного перерізу; 2 – розглядаються подовгасті жорсткі масивні елементи, з'єднані пружними елементами. В результаті ми отримуємо ефективні малопараметричні розрахункові схеми, де можна легко проаналізувати вплив параметрів конструкції на її нелінійну динамічну поведінку, в тому числі на динамічну стійкість. Нижче показано алгоритм оптимального проектування ДГК (рис. 1).

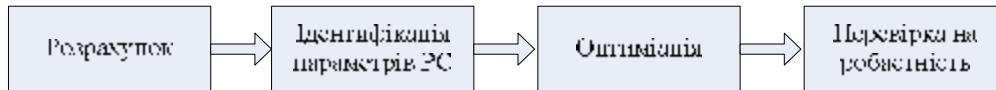


Рис. 1. Алгоритм оптимального проектування ДГК

Важливу роль у проектуванні ДГК відіграє визначення параметрів базисної конструкції [7].

1. Коренев Б.Г., Резников Л.М. Динамические гасители колебаний: Теория и технические приложения. М.: Наука, 1988. 304 с.
2. O. Fischer Wind-excited vibrations—Solution by passive dynamic vibration absorbers of different types. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 95 (2007) 1028–1039.
3. Дівеєв Б.М., Дорош І.Р. Проблеми оптимального проектування штанг штангових обприскувачів // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів. – № 40, 2006. – С.105–111.
4. Дівеєв Б.М., Дорош І.А. Проблеми віброзахисту та динамічної стабілізації у штангових обприскувачах. // Всеукр. наук.-техн. журнал “Вібрації в техніці та технологіях”. – Вінниця: ВДАУ, 2006. - № 1 (43). – С. 27 – 29.
5. Дівеєв Б.М., Керницький І.С., Лебіга В.М. Проектування системи динамічних гасників коливань різних типів. Вісн. Нац. Ун-ту «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів», Львів, 2011.- №701.-С.25-29.
6. Diveyev Bohdan, Vikovych Igor, Dorosh Ihor, Kernyskyu Ivan. Different type vibration absorbers design for beam-like structures. *Proceeding of ICSV19, Vilnius, Lithuania, July 08-12, 2012*.
7. Hennadiy Cherchyk, Bohdan Diveyev, Yevhen Martyn, Roman Sava. Parameters identification of particle vibration absorber for rotating machines. *Proceeding of ICSV21, Beijing/China, 13-17 July, 2014*.

## СИСТЕМА СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОЛОЖЕННЯ ШТАНГИ ОБПРИСКУВАЧА

### SYSTEM FOR STABILIZE THE BARBELL SPRAYER

Богдан Кіндрацький<sup>1</sup>, Іван Сушко<sup>2</sup>, Олексій Осмак<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>ТДВ «Львівагрошапроект»,  
вул. Городоцька, 205, м. Львів, 79015; Україна.

*System for stabilize the barbell sprayer proposed. Investigated its effect on the accuracy of positioning the bar during tractor unit movement by inequalities.*

Для ефективного застосування штангових обприскувачів важливе значення має точність розбризкування препарату. Неправильність, нерівномірність та неточність розпилення у більшості випадків зумовлене коливаннями штанги пристрою, що, в свою чергу, обумовлене рухом транспортного засобу по нерівній поверхні. Ці негативні фактори призводять до збільшення витрат препарату, погіршення якості обробітку рослин і, як наслідок, – до зменшення ефективності процесу обприскування. Для усунення небажаних коливань штанги обприскувачів виробники оснащують конструкції своїх виробів системами стабілізації положення штанги. Сюди належать пасивні системи стабілізації у вигляді пружних підвісок з демпферами, системи динамічної стабілізації з електронним

блоком керування, сенсорами та виконавчими пристроями у вигляді гідроциліндрів. Складність таких систем і їхня висока вартість обмежують сферу застосування обприскувачів у сільському господарстві. Тому розроблення простих, і в той же час ефективних, систем стабілізації положення штанг обприскувачів, особливо з великою полозою захоплення, є актуальним і сприятиме здешевленню такої техніки, ефективному її застосуванню в малих і великих господарствах.

Авторами запропонована маятникова система стабілізації штанги обприскувача. Розроблена її математична модель і досліджено вплив конструктивних параметрів такої системи на ефективність стабілізації горизонтального положення штанги при русі обприскувача по нерівностях характерного профілю. У якості динамічної моделі системи стабілізації розглянуто фізичний маятник з рухомою основою та фрикційним зв'язком між транспортним засобом і основою кріплення маятника. Диференціальне рівняння коливального руху штанги відносно горизонтальної осі кріплення до транспортного засобу подано у вигляді диференціального рівняння

$$J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = T_{t0} \operatorname{sign} \varphi - mgl \sin \varphi ,$$

де  $J = J_0 + ml^2$  – зведений момент інерції штанги;  $J_0$  – момент інерції вузла кріплення штанги до транспортного засобу;  $m$  – маса штанги;  $l$  – зміщення центра мас штанги відносно осі кріплення її до транспортного засобу;  $T_{t0}$  – збурювальний момент тертя у з'єднанні штанги з транспортним засобом;  $g$  – пришвидження сили земного тяжіння.

Комп'ютерна симуляція коливальних штанги обприскувача здійснена у середовищі Simulink. Досліджено вплив конструктивних параметрів штанги і вузла кріплення на точність горизонтального положення штанги при русі транспортного засобу по нерівностях характерного для сільськогосподарських угідь профілю. З'ясовано, що збільшення тертя у вузлі кріплення при циклічному збуренні зі сторони транспортного засобу призводить до розгойдування штанги. Збільшення висоти кріплення штанги відносно поверхні, по якій рухається транспортний засіб, зменшує чутливість системи і погіршує реакцію штанги на зовнішнє збурення. Зроблені рекомендації щодо підвищення ефективності стабілізації горизонтального положення штанги обприскувача.

## ШЛЯХИ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СУЧАСНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ

### WAYS OF THE RATIONAL PLANNING OF THE MODERN GEARING

Юрій Кіпрєєв, Вадим Микитюк

*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова  
проспект Героїв Сталінграду, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна.*

*Problems of the rational design of the modern hard loaded gearings are analyzed. Visual methods of computer modeling by means of which design, technological and research problems are solved are considered. The offered methods of optimization of design allow providing high-quality characteristics of gearings.*

Залишаються актуальними проблеми, пов'язані з проектуванням, виготовленням, доведенням та експлуатацією зубчастих передач у складі потужних газотурбінних агрегатів. Центральним інститутом авіаційного моторобудування (ЦІАМ, Москва) запропонований метод «візуального проектування зубчастих передач» – удосконалений метод комп'ютерного моделювання динамічних процесів у зубчастих передачах. Проектант спостерігає на екрані монітора динаміку зміни навантажень, осцилограми коливальних деталей передачі, у залежності від форми зубців та елементів коліс прослуховує синтезований шум майбутньої передачі, а за допомогою візуальних компонентів керує процесом її проектування.

Для введення початкових даних використовують діалогові вікна:

- навантаження, кутова швидкість;
- врахування зовнішніх коливальних;
- параметри демпфування;
- параметри підшипників тощо.

Подібна система підготовки даних дозволяє вирішувати широкий спектр конструкторських, технологічних та дослідницьких задач.

У процесі проектування змінюється невелика кількість параметрів, котрі відображаються у візуальних формах. Візуалізація результатів конструювання передачі дозволяє спостерігати не тільки деформації зубців (в експерименті – тензометрія), але й динамічні зміни контактних та згинних напружень (виводяться на екран поля напружень).

Система візуального проектування дозволяє спостерігати картини розподілу навантажень вздовж ширини зубців та оцінити вплив похибок напрямку зубців, а також характер зміни форми профілю зубця під навантаженням (контури контактних та згинних деформацій, а також сумарну деформацію).

Запропоновано також новий метод розрахунку зубчастих передач – метод повного прямого синтезу. Він придатний як для синтезу передач з зубцями симетричного профілю, так і для несиметричних профілів (у нереверсивних передачах). Наприклад, одержані оптимальні кути несиметричного профілю: для основного профілю  $\alpha=33^\circ$ , для напрямного –  $\alpha=20^\circ$  за заданою товщиною зубця. Зубчасті передачі, спроектовані за цією системою, відрізняються зменшенням рівня вібрації і шуму.

Дуже цікавим та корисним є метод комп'ютерного діагностування зубчастих передач під час тривалої експлуатації двигунів, який дозволяє за сукупністю спостережуваних параметрів визначити місце можливої відмови та оцінити ступінь небезпечності дефекту.

Вказані методи оптимізації проектування сучасних зубчастих передач у поєднанні з традиційними методами конструювання дозволяють надійно гарантувати високі показники їхньої якості за критеріями міцності, надійності, довговічності, вібрації та шуму.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ЦИКЛОНІВ ЗІ СПІРАЛЬНИМ НАПРАВЛЯЮЧИМ АПАРАТОМ ЗА ДОПОМОГОЮ CFD-ПРОГРАМ**

### **DETERMINATION OF OPTIMAL GEOMETRICAL SIZES OF CYCLONES WITH SPIRAL SENDING VEHICLE FOR HELP OF CFD - PROGRAMS**

**Володимир Майстрок, Роман Гаврилів**

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*Research of influence of amount of coils and width of channel is conducted on hydraulic resistance of cyclones with a spiral sending vehicle. It is set that the amount of coils of vehicle strongly influences on hydraulic resistance, and width of coils - insignificantly*

Однією з важливих умов ефективної роботи пиловловлюючих апаратів (низький гідравлічний опір і високий рівень очищення) є оптимальне співвідношення геометричних розмірів конструкцій.

Раніше для визначення оптимальних геометричних розмірів апарату використовували фізичне моделювання. Однак цей метод є дорогим і довготривалим.

Останніми роками, у зв'язку з потужним розвитком комп'ютерної техніки та програмного забезпечення, істотно розширилися можливості числового аналізу завдяки CFD-програмам (Computational Fluid Dynamics), що призначені для комп'ютерного аналізу задач гідрогазодинаміки.

Для визначення впливу геометричних розмірів апарату на гідравлічний опір було проведено дослідження циклона зі спіральним направляючим апаратом з різною кількістю витків спіралі і шириною спірального каналу за допомогою Flow Simulation програмного комплексу SolidWorks.

Вихідними параметрами для дослідження даних циклонів були характеристики повітряного потоку:

- атмосферний тиск за нормальних умов,  $P_0=101325$  Па;
- температура середовища за нормальних умов,  $T_0=293$  К;
- густина повітря,  $\rho_n = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>.

Для розрахунку задавали такі граничні умови:

- відкритий потік – швидкість на вході, тобто швидкість у вхідному патрубку;

- відкритий тиск – тиск навколишнього середовища;
- стіна – реальна стінка.

Для визначення впливу витків спіралі апарата на гідравлічний опір змінювали їх кількість від 2 до 5. Ширину спірального каналу змінювали від 30 до 100 мм. Комп'ютерні дослідження проводились для випадку, коли циклони працюють на лінії всмоктування. Кут нахилу вхідного патрубку і верхньої спіральної кришки до площини поперечного перерізу циліндричної частини циклона для всіх апаратів становив  $15^\circ$ .

Кількість витків істотно впливає на гідравлічний опір апарата. Зі збільшенням витків з 2 до 5 гідравлічний опір зростає майже в три рази. Слід відмітити, що збільшення кількості витків приводить до збільшення часу перебування газу в апараті, що, у свою чергу, може привести до збільшення ефективності роботи. Не рекомендується використовувати апарати з кількістю витків більше чотирьох, бо відношення для таких апаратів  $\Delta P/\rho > 740$ .

Збільшення ширини каналу незначно збільшує гідравлічний опір. Збільшення ширини каналу веде до збільшення об'ємів газу, але ширину каналу більше 100 мм не рекомендується використовувати тому, що подальше збільшення може призвести до зниження ефективності очищення.

## РОЗРАХУНОК ТА ОПТИМІЗАЦІЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛЕЙ З'ЄДНАНЬ ЗМІННОЇ ЖОРСТКОСТІ

### CALCULATION AND OPTIMIZATION OF STRUCTURAL PARAMETERS DETAILS OF CONNECTION VARIABLE STIFFNES

Володимир Малащенко<sup>1</sup>, Валерій Ніколайчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна.

*The method of calculation of structural parameters of new compounds of connection variable stiffness. The analytical expressions for geometric parameters of connection details – shaft, spring sleeve. The constructed nomogram for determining the parameters of rational data parts, depending on the load, materials and technical and operational requirements.*

Основною проблемою сучасного машинобудування є забезпечення, згідно зі службовим призначенням, обґрунтованого вибору оптимальної структури та параметрів спроектованої конструкції.

Застосування з'єднань змінної жорсткості в сучасних машинах дозволяють забезпечувати плавний рух механізмів, зменшувати вібрації, компенсувати неспіввісність деталей, що позитивно впливає на працездатність машин, і тому використання цих з'єднань має істотне значення для різних галузей машинобудування. Очевидна доцільність застосування з'єднань змінної жорсткості в якості амортизаторів, пружних муфт і віброізоляторів.

На основі проведеного аналізу стану досліджень з'єднань змінної жорсткості обґрунтовано наукові підходи до створення принципових схем і розроблення нових конструкцій, основним принципом створення яких є поєднання пружних елементів таким чином, щоб під час роботи з'єднання кожен з його складових включався в дію поступово. Це здійснюється шляхом вибору потрібних коефіцієнтів розподілу навантаження між деталями з'єднання.

Для обґрунтування конструктивних параметрів деталей з'єднань (вали порожнинні, втулки, пружини) були розроблені розрахункові схеми і застосовувався для розв'язання задач метод умовної оптимізації нелінійного програмування. За критерій оптимізації вибрано найменшу вартість виготовлення виробу. Обмеження були виражені у вигляді математичних нерівностей через геометричні й фізичні параметри деталей, які характеризували умови міцності, жорсткості і витривалості, а також технологічні й експлуатаційні вимоги.



Розв'язки задач оптимізації дозволили отримати аналітичні залежності, на основі яких виконані розрахунки і побудовані номограми, що дозволяє вибирати раціональні геометричні параметри деталей з'єднань залежно від навантаження, матеріалу, технологічних та експлуатаційних вимог.

Розроблена також методика силового розрахунку трубчастих пружних елементів з'єднань змінної жорсткості із застосуванням методів теорії пружності, що дозволяє виконувати перевірку міцності і жорсткості деталей.

Методики розрахунку та оптимізації конструктивних параметрів деталей з'єднань змінної жорсткості реалізовані у вигляді програмного модуля.

## ПІДВИЩЕННЯ РІВНОМІРНОСТІ ЗАТЯГУВАННЯ НАРІЗЕВИХ З'ЄДНАНЬ ОПОРНО-ПОВОРОТНОГО ПРИСТРОЮ КРАНІВ

INCREASE UNIFORMITY TIGHTENING NARIZEVYN FORMATIONS ROTARY SUPPORT CRANE

Володимир Малащенко<sup>1</sup>, Василь Федик<sup>1</sup>, Богдан Матвій<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна.

Для підвищення рівномірності затягування нарізевих з'єднань опорно-поворотного пристрою кранів розроблено та отримано позитивне рішення на видачу патенту України на нову конструкцію устаткування, що може функціонувати з будь-яким джерелом руху [1]. Його можна застосовувати навіть зі звичайним електродрилем. Тому такий прилад повністю відноситься до галузі машинобудування і приладобудування та може бути застосований не тільки для рівномірного затягування гайок нарізевих з'єднань під час виконання монтажних операцій, а й для автоматичного регулювання величини обертового моменту, тобто запобігання перевантажень співвісних валів у механічних приводах.

Нова конструкція пристрою базується на основному принципі дії відомих запобіжних муфт [2, 3] і має деякі суттєві відмінності. Загальними ознаками цих пристроїв є те, що вони складаються з ведучих і ведених півмуфт, виконаних з пазами, робочі поверхні яких розташовані під кутом до осі їх обертання. У пазах півмуфт встановлено розділювальні кульки, причому на веденій півмуфті встановлено диск і пружину, ведуча – з'єднана зі стаканом нарізю. Це останнє дещо ускладнює конструкцію внаслідок того, що зовнішня поверхня ведучої півмуфти та внутрішня поверхня циліндричної частини стакана виконані з нарізю для їх з'єднання. Нарізування нарізі на внутрішній поверхні циліндричної частини стакана ускладнює технологію його виготовлення та вимагає збільшення товщини стінки циліндричної частини стакана під нарізь, що приводить до збільшення металоемності всього пристрою.

З огляду на це, в основу винаходу поставлено завдання удосконалення конструкції відомої запобіжної муфти для пристрою, що підвищує рівномірність затягування гайок нарізевих з'єднань опорно-поворотного круга автокранів. Поставлене завдання розв'язано тим, що запропоновано нове виконання стакана і ведучої півмуфти, що і забезпечило спрощення технології виготовлення та зменшення металоемності за рахунок зменшення товщини стінки циліндричної частини стакана, який має тільки один наскрізний паз для гвинта, що загвинчується у нарізевий отвір ведучої півмуфти. Опис конструкції нового пристрою читач може знайти в [1], а принцип роботи подібний до відомих кулькових обгінних муфт.

Застосування нового пристрою істотно покращує рівномірність затягування гайок болтових з'єднань заданим зусиллям різноманітних машин, що підвищує їх надійність.

1. Заявка № у 2014 03475 Запобіжна муфта. МПК F 16 В 43/00. /В.О. Малащенко, В.В. Федик. Поз. рішення 10.06.2014. 2. Патент на корисну модель № 64104 (Україна)/ Запобіжна муфта. МПК F16D43/00 / В.О. Малащенко, В.В. Малащенко. Опубл. 2011. Бюл. № 20.. 3. Патент України 86206, МПК F 16 В 3/00. Муфта / П.С. Коруняк; В.О. Малащенко, Т.Ю. Ковальчук, заяв. і власник патенту Коруняк П.С., Малащенко В.О., Ковальчук Т.Ю. Опубл., 2013. Бюл. №24.

## МОДЕРНІЗАЦІЯ РОТОРНОЇ ПІДКОПУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

### MODERNIZATION ROTARY UNDERMINING MACHINES

**Володимир Мусійко, Юрій Вошак**

*Національний транспортний університет,  
вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010, Україна.*

*The main pipeline is a complex engineering structure that incorporates a range of technical systems: the linear part, main and intermediate pumping stations, tank farms and so on. The linear part of the pipeline - a system of linear-extended objects that are designed to provide pumping process product.*

Магістральний трубопровід являє собою складну інженерну споруду, що має в своєму складі цілий комплекс технічних систем: лінійну частину, головні та проміжні перекачувальні станції, резервуарні парки і таке інше. Лінійна частина магістрального трубопроводу – це система лінійно-протяжних об'єктів, що призначені для забезпечення процесу перекачування продукту.

Магістральні трубопроводи експлуатуються на протязі декількох десятків років, що призвело до зниження показників їхньої надійності. Відновлення надійної роботи трубопроводів може бути здійснено за рахунок виконання їх якісного капітального ремонту. На сьогоднішній день найбільш стримуючим фактором підвищення продуктивності ремонту є недосконалість засобів виконання земляних робіт. Машини, що використовуються для виконання ремонтних робіт не повною мірою відповідають вимогам безпеки їх виконання та збереження трубопроводу, що ремонтується.

При реалізації технології ремонту трубопроводу в траншеї здійснюється розроблення і видалення ґрунту з-під труби з допомогою підкопувальної машини. Розроблення траншеї навколо трубопроводу з використанням підкопувальної машини скорочує кількість технологічних операцій при відкритті трубопроводу та приводить до збільшення продуктивності виконання ремонтних робіт. Крім того, використання підкопувальної машини дозволяє уникнути пошкоджень труби під час її ремонту. Робочий орган підкопувальної машини шнеко-роторного типу розробляє ґрунт під трубопроводом та переміщує його в спеціальні приямки обабіч труби. Наявність приямків вимушено збільшує глибину траншей по боках трубопроводу, що ремонтується, а значить і обсяг земляних робіт, що виконуються при цьому. Зважаючи на те, що основний обсяг земляних робіт при капітальному ремонті трубопроводів виконується машиною відкриття трубопроводів, раціональною слід вважати організацію роботи машини відкриття трубопроводу та підкопувальної тандемом. В даному випадку розроблений ґрунт під трубопроводом переміщується на робоче обладнання машини відкриття трубопроводу і вже ним – у відвал на одній зі сторін від траншеї.

Для забезпечення вказаної організації виконання робіт машина підкопувальна роторна оснащується додатковими привідними інтенсифікаторами, кожен з яких виконаний у вигляді металника, ґрунтовідкидувальні елементи якого закріплені на підпружинених важелях, що шарнірно закріплені до корпусу з обмеженням їх поворотного руху. Обмеження повороту важелів здійснюється за допомогою пружних елементів, які є частиною звідного механізму металника. При виході з зони дії звідного механізму ґрунтовідкидувальних елементів, вивільняється енергія пружних елементів, чим забезпечується ефективне розвантаження ґрунту. Таке виконання привідних інтенсифікаторів оптимально сприяє евакуації ґрунту від робочих органів машини підкопувальної роторної на робочі органи машини розкриття трубопроводу.

## ПРОГРАМНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ КІНЕМАТИЧНИХ СХЕМ ПРОМИСЛОВИХ РОБОТІВ

### ANALYSIS SOFTWARE VERSIONS KINEMATIC SCHEME OF INDUSTRIAL ROBOTS

**Іван Павленко, Павло Попруга**

*Кіровоградський національний технічний університет,  
проспект Університетський, 8, м. Кіровоград, 25006, Україна.*

*Kinematic analysis algorithm schemes with different number of degrees of mobility and software in Delphi for its automation.*

Промислові роботи мають високу кінематичну рухомість виконуючих органів, що дозволяє їм здійснювати складні просторові переміщення та орієнтування деталей, які підлягають транспортуванню.

Попередню уяву про рухи, які виконуються роботами, можна одержати з кінематичних схем. Загальна кількість можливих варіантів кінематичних схем визначається формулою [1]:

$$m = \sum_{i=1}^n \frac{N!}{n_{III}! n_{IV}! n_V!} \cdot 2^{n_V} \cdot 4^{(N-1)},$$

де  $N = n_{III} + n_{IV} + n_V$  – загальна кількість кінематичних пар, використовуваних в кінематичній схемі робота;  $n_{III}, n_{IV}, n_V$  – кількість кінематичних пар відповідно III, IV та V-го класів,  $n$  – кількість ступенів рухомості робота.

Значна кількість ступенів рухомості робота призводить до величезної кількості можливих варіантів кінематичних схем, що ускладнює визначення доцільного варіанту схеми.

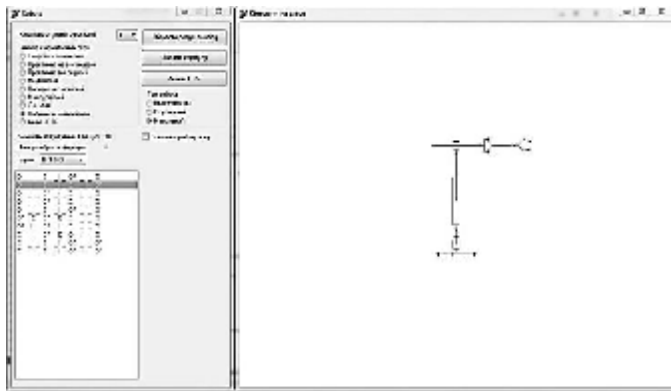


Рис. 1. Інтерфейс програмного середовища для аналізу кінематичних схем промислових роботів

Для вирішення поставленої задачі було розроблено алгоритм аналізу кінематичних схем з різною кількістю ступенів рухомості [2]. На основі такого алгоритму розроблено програмне забезпечення в середовищі Delphi для його автоматизації. Інтерфейс розробленого середовища представлено на рис. 1.

Використовуючи створене програмне забезпечення можна швидко виконати аналіз кінематичних схем для промислових роботів з двома, трьома, чотирма та п'ятьма ступенями рухомості. Нижче, в таблиці 1, представлено кількісний аналіз кінематичних схем промислових роботів.

Таблиця 1

Кількісний аналіз кінематичних схем

| Кількість ступенів рухомості робота | Загальна кількість теоретично можливих варіантів | Практично не виконувані варіанти | Практично виконувані варіанти | Недоцільні варіанти | Малодоцільні варіанти | Попередньо доцільні варіанти | Доцільні варіанти |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| $n$                                 | $m$                                              | $m_{III}$                        | $m_{IV}$                      | $m_{ND}$            | $m_{MD}$              | $m_{DV}$                     | $m_{NDV}$         |
| 2                                   | 64                                               | 24                               | 40                            | 6                   | 9                     | 25                           | 7                 |
| 3                                   | 1024                                             | 624                              | 400                           | 119                 | 75                    | 206                          | 13                |
| 4                                   | 16384                                            | 12384                            | 4000                          | 1762                | 625                   | 1713                         | 26                |
| 5                                   | 262144                                           | 222144                           | 40000                         | 20534               | 5224                  | 14242                        | 48                |

З аналізу видно, що при зростанні ступеня рухомості загальна кількість варіантів значно зростає, а доцільних варіантів з даної кількості значно менше. Тому використання даного алгоритму та створеного програмного забезпечення є виправданим і значно полегшить задачу пошуку необхідної кінематичної схеми.

**Висновки.** Підсумовуючи вищесказане зазначимо, що велика кількість ступенів рухомості робота призводить до великої кількості можливих варіантів кінематичних схем і визначення оптимальної схеми робота, за такої кількості варіантів, є складним завданням. Розроблене програмне середовище на основі запропонованого алгоритму істотно полегшує виконання даної задачі.

1. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420 с. 2. Павленко І.І., Сябірзянов Т.Г., Попруга П.В. Комп'ютеризований аналіз кінематичних схем

промислових робіт //Зб. «Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин» випуск 42 ч.1., КНТУ, 2013 р.

## РОЗРОБЛЕННЯ САПР ФІЛЬЄРИ МУНДШТУКА КЕРАМІЧНОГО ПРЕСА

### DEVELOPMENT OF CAD SYSTEM OF DIES MOUTHPIECE OF CERAMIC PRESS

Анатолій Панчук, Віталій Панчук, Віктор Мельник

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.

*This paper addresses the problem of improving the efficiency of production of ceramic products using dies, form work surfaces which are adapted to the specific material. Rheological properties of raw materials used ceramic enterprises are different. Therefore, to design dies with increased wear resistance for various ceramic enterprises, it is necessary to develop CAD system of die, the nature and content of which are discussed in this paper.*

Одним з напрямків підвищення ефективності виробництва керамічних виробів є покращання експлуатаційних характеристик «найслабшої» ланки технологічного оснащення – фільєри [1]. Основною причиною її заміни є зношування [2]. Раніше досліджувалась залежність між шихтою, конструктивними параметрами фільєри та її стійкістю в процесі експлуатації. Збільшення ресурсу роботи інструмента відбувалося з використанням фільєр з поверхнями, форма яких є адаптованою до конкретної сировини. Проте на кожному виробництві використовується шихта, яка є сумішшю різних глин, тому її реологічні властивості є індивідуальними. Як наслідок, форма робочих поверхонь фільєри з підвищеною зносостійкістю також буде індивідуальною. Тому виникає необхідність створення САПР виробництва фільєр, яка дасть можливість при мінімальних затратах часу в умовах керамічного підприємства виготовляти технологічний інструмент з підвищеними експлуатаційними характеристиками.

Структура САПР буде складатися з п'яти модулів (рис. 1).



Рис. 1. Структура САПР виготовлення фільєр

Оскільки моделювання здійснюється за моделлю Гершеля-Балклі, в першому модулі визначаються реологічні (граничне напруження зсуву, коефіцієнт консистенції та показник нелінійності), кінематичні (швидкість глинистого бруса) та динамічні (тиск шихти у мундштуці) параметри. В другому модулі моделюється процес протікання шихти крізь мундштук. В третьому – проводяться оптимізаційні розрахунки параметрів робочих поверхонь. В четвертому – визначаються технологічні параметри механічної обробки робочих поверхонь фільєри. В п'ятому – здійснюється формалізація отриманих параметрів у вигляді керуючої програми ЧПК.

Таким чином, ця САПР дозволяє здійснити виготовлення фільєри за наявності фрезерного верстата з ЧПК.

1. Bongioanni stampi: Каталог [Електронний ресурс] — 16 с. — Режим доступу: <http://www.bongioannistampi.com>. 2. Frank Handle (Ed.). Extrusion in Ceramics. Berlin: Publ. «Springer», 2007. – 470 с.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРИВОДУ БАГАТОДИСКОВОЇ ФРИКЦІЙНОЇ МУФТИ З ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

MATHEMATICAL MODEL OF MULTIDISK CLUTCH ACTUATOR WITH ELECTROHYDRAULIC  
CONTROL SYSTEMS

Олег Пелешишин

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*Dynamic and mathematical models of the multi-plate friction clutch with electronical control system developed.*

Багатодискові фрикційні муфти широко застосовують у сучасних машинах і механізмах, зокрема, в автоматичних коробках передач автомобілів, системах розподілу потужності між осями автомобіля, металорізальних верстатах з числовим програмним керуванням тощо. Характерною особливістю таких муфт є наявність у їхньому складі електрогідравлічних приводів з електронними системами керування [1, 2].

Для аналізу перехідних процесів у таких системах і проектування їх під задані умови роботи потрібно створити математичну модель, яка б описувала ці процеси та давала можливість симулювання роботи багатодискових фрикційних муфт на комп'ютері.

У доповіді наведена динамічна і математична моделі приводу багатодискової фрикційної муфти з електрогідравлічною системою керування. В основу математичної моделі покладені рівняння руху електромеханічної системи та гідравлічного плунжерного насоса. Диференціальне рівняння для визначення кутової швидкості та електромагнітного моменту двигуна подано у такому вигляді:

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L \operatorname{sign}(\omega) - B_m \omega - T_f,$$

де  $J$  – момент інерції ротора електродвигуна;  $T_e$  – електромагнітний момент двигуна;  $B_m$  – коефіцієнт в'язкого тертя;  $T_f$  – момент сухого тертя;  $T_L$  – момент опору.

Величина електромагнітного моменту двигуна обчислювалась за формулою

$$T_e = K_T \cdot I_a,$$

де  $I_a$  – струм якоря;  $K_T$  – коефіцієнт пропорційності між електромагнітним моментом і струмом якоря.

Параметри електродвигуна з постійним струмом і незалежним збудженням визначалися на основі каталожних даних, наведених у [3]. Математична модель реалізована на комп'ютері з використанням MATLAB.SimPowerSystems і Simulink [4].

1. Бахмутов С.В., Гусаков Д.Н. Экспериментальная оценка влияния распределения мощности по осям полноприводного многоосного автомобиля на показатели управляемости и устойчивости // Известия МГТУ «МАМИ», 2007. – №2. – С. 14-19. 2. Сайкин А.М., Плиев И.А., Кориунов Г.В. и др. Об оптимизации распределения мощности по осям и колесам полноприводных автомобилей в зависимости от дорожных условий // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – №3 (68). – С. 34-37. 3. Герман-Галкин С. Г., Крадинов Г. А. Электрические машины. Лабораторные работы на ПК. – СПб.: КОРОНА принт, 2003. – 256 с. 4. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB.SimPowerSystems и Simulink. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 288 с.

## УМОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЯГОВОЇ ЗДАТНОСТІ АВТОМАТИЧНО РЕГУЛЬОВАНОЇ ПАСОВОЇ ПЕРЕДАЧІ З САМОЗАТЯЖНИМ КІЛЬЦЕМ

THE TERMS ENSURING TRACTION ABILITY AUTOMATICALLY REGULATED BELT DRIVE  
WITH THE SELF-PROTRACTED RING

Ростислав Предко

Національний університет «Львівська політехніка»,  
бул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*The problem of the installation dependencies influence of geometrical and design parameters belt drive on the value of the coefficient of traction. The received formula for determining it.*

Автоматично регульована пасова передача (АРПП) з самозатяжним кільцем [1] забезпечує необхідний пружний натяг привідного пасу залежно від корисного навантаження передачі. В такій пасовій передачі ведучий шків складається з ролика, на якому розташовується самозатяжне кільце, що охоплюється разом з веденим шківом привідним пасом.

Тягова здатність АРПП забезпечується наступними умовами. З одного боку треба забезпечити таке співвідношення між корисним зусиллям  $F_t$  привідного пасу і його пружним натягом  $F_0$ , щоб ролик не проковзував відносно самозатяжного кільця. Це можна досягнути відповідним значенням коефіцієнта тертя ковзання між роликом і самозатяжним кільцем для певного значення коефіцієнта тяги  $\phi$  пасової передачі.

З іншого боку необхідно встановити такі геометричні і конструктивні параметри елементів АРПП, щоб привідний пас не мав надмірного чи недостатнього пружного натягу під час передавання пасовою передачею розрахункового максимального корисного навантаження  $F_{t\max}$ . Іншими словами тут також потрібно забезпечити відповідне значення коефіцієнта тяги  $\phi$  пасової передачі. Таким чином, АРПП буде мати належну тягову здатність [2], якщо її коефіцієнт тяги забезпечить дві зазначені вище умови.

Розв'язано задачу по встановленню залежностей впливу геометричних і конструктивних параметрів АРПП на величину її коефіцієнта тяги. Отримано вираз для його визначення

$$\phi = \frac{F_t}{2F_0} = \sqrt[3]{\frac{F_t a}{\delta^2 c e (a - e)}},$$

де  $a$  – фіксована відстань між осями валів передачі;  $e$  – ексцентриситет самозатяжного кільця по відношенню до ролика;  $c$  – жорсткість привідного пасу;  $\delta$  – співвідношення діаметрів робочих поверхонь самозатяжного кільця.

Наведений вираз для коефіцієнта тяги АРПП дозволяє встановити параметри передачі для забезпечення нормальної роботи привідного пасу на шківках без надмірного чи недостатнього його пружного натягу. В таких пасових передачах рекомендовані значення коефіцієнта тяги  $\phi = 0,5 \dots 0,6$  забезпечуються тільки за умови, що співвідношення діаметрів робочих поверхонь кільця  $\delta < 1$ .

1. Кіндрацький Б. І., Павлице В. Т., Предко Р. Я. Розрахункові параметри автоматично регульованої пасової передачі з самозатяжним кільцем // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2007. – № 9. – С. 73-78. 2. Павлице В.Т., Предко Р.Я. Аналіз тягової здатності автоматично регульованої пасової передачі з самозатяжним кільцем // Вісник НУ «Львівська політехніка» «Динаміка, міцність та проектування машин і приладів». – 2005. – № 539. – С. 86-89.

## ПІДВИЩЕННЯ ЗАХИСТУ РУЛОНОНАМОТУВАЛЬНИХ ПРИВОДІВ ПОЛІГРАФІЧНИХ МАШИН ВІД ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

INCREASED SECURITY DRUM ROLL DRIVES PRINTING MACHINE FROM DYNAMIC LOADS

Ігор Романчук, В'ячеслав Пасіка

Українська академія друкарства,  
вул. Підголоско, 19, м. Львів, 79000, Україна.

*The report deals with the study and design of structures with elastic coupling portion kvazinulovoyi stiffness to reduce the influence of dynamic loads in drives for printing machines qualitative characteristics of their work and of the output.*

Перед машинобудівниками поставлено завдання розвитку сучасної матеріально-технічної бази поліграфічної галузі, що безпосередньо пов'язано з необхідністю підвищення технічного рівня конкурентоспроможності виробничих машин і технологічних комплексів, збільшення терміну їх служби та надійності. Створюванні поліграфічні машини в сучасних економічних умовах за своїми технічними характеристиками і економічними показниками не повинні поступатися світовим зразкам. Це вимагає вдосконалення методів розрахунку та технологій конструювання технічних об'єктів, що залежать від вивчення й розуміння механічних явищ, динамічних деформуючих процесів та мінімізації динамічних навантажень у розроблювальних конструкціях поліграфічних машин.

Важливою рисою розвитку ротативних друкарських машин різних видів друку є тенденція до збільшення формату друку. Це відповідно веде під час зміни режимів роботи до зростання механічних коливань і негативних динамічних явищ в елементах конструкцій. Приводи працюють у широкому діапазоні частот, що постійно збільшується. Вдосконалення динамічних характеристик рулононамотувальних приводів поліграфічних машин можливе за умови їх проектування з визначеними конструктивними параметрами, які забезпечать мінімальні вібрації в основних механізмах при різних робочих режимах експлуатації.

Ефективним засобом зменшення динамічних навантажень у приводних системах є застосування пружних компенсаційних муфт. Перспективним є використання пружних муфт великої податливості та нелінійної жорсткості при гасінні крутильних коливань для встановлених режимів роботи, але вони малоефективні при перехідних режимах: при великих деформаціях порушується інерційний зв'язок муфти. Невисока точність визначення податливостей муфт інженерними методами, складність визначення їхніх жорстких характеристик зумовлює необхідність проведення теоретичних та експериментальних досліджень у цій області.

Найважливішим завданням розрахунку пружних муфт є визначення жорстких коефіцієнтів на основі аналізу пружно-деформованого стану пружних елементів, визначення раціональних співвідношень геометричних та жорстких параметрів елементів конструкції муфти з врахуванням точності обмеження допустимого навантаження та забезпечення мінімальних втрат енергії.

У доповіді розглянуто дослідження та проектування конструкції пружної муфти з ділянкою квазінульової жорсткості для підвищення захисту приводів поліграфічних машин з метою зменшення впливу динамічних навантажень на якісні характеристики їхньої роботи та виготовленої продукції.

Запропоновано принципову схему вібропогашуючої муфти крутильних коливань. В даній конструкції поряд зі збереженням високої несучої здатності існує можливість знизити частоту власних коливань, моделювання крутильної жорсткості системи приводу і визначати динамічні характеристики. Конструктивно це досягається тим, що між ведучою та веденою ланками паралельно основному пружному зв'язку встановлюється зворотній пружний зв'язок з від'ємною жорсткістю.

Досліджувана муфта за рахунок ділянки квазінульової жорсткості здатна забезпечити ефективний захист приводів машин від низькочастотного збурення та резонансних динамічних навантажень, чим позитивно відрізняється від інших пружно-компенсуючих муфт.

## РОЗРАХУНОК І ОПТИМІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ КРІСЕЛЬНИХ КАНАТНИХ ДОРІГ

### CALCULATION AND OPTIMIZATION OF THE BASIC UNITS OF CHAIR LIFTS

**Богдан Сологуб, Ярослав Данило**

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*The scheme chairlift with shifting mechanism and different speeds of movement chair suspension during boarding passengers on the main track. The dependencies to determine the tension Pull-bearing rope, power drive and stiffness back and exhaust mechanism reloading device chairlift.*

Актуальність питань проектування пасажирських канатних доріг та оцінки їхньої надійності в Україні обумовлюється проблемою недостатнього забезпечення гірськолижних схилів відповідним обладнанням, активним застосуванням канатних доріг, що були в експлуатації, відсутністю

нормативної бази, що регулювали би питання проектування, обстеження, повторного встановлення та експлуатації даних доріг.

Вдосконалення існуючих канатних установок та проектування нових підвісних пасажирських доріг можна здійснювати на основі структурно-параметричного синтезу.

Дослідженням та проектуванням таких систем завжди приділялась значна увага. Для розробки нових механізмів чи устаткувань необхідно вибрати раціональні схеми запропонованих варіантів, встановити зв'язки між окремими елементами системи, визначити зовнішні сили, що діють на систему, а також закономірності взаємодії окремих вузлів між собою.

Канатні витяги широко використовуються на зимових базах відпочинку. За останні роки значно зросла їх кількість у регіонах Карпат, їх експлуатація підвищує комфортність відпочиваючих і приносить значні прибутки. Однак першочерговим завданням є забезпечення безпеки роботи витягів та вибір оптимальних параметрів, які дозволять досягти довговічності основних вузлів.

Найбільш небезпечними, з точки зору надійності та довговічності основних вузлів канатних установок є проміжні опори та тягово-вантажопідіймальні пристрої. Умови роботи та рекомендації для вибору канатів і конструкцій проміжних опор для установок з нерухомим несучим канатом наведено в багатьох роботах.

Для визначення внутрішніх зусиль, що виникають в рухомому тягово-несучому канаті і елементах проміжної опори розглянуто розрахункову схему, на основі якої розроблено математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь руху. При цьому прийнято, що кривою провисання канату є ланцюгова лінія, а при визначенні величини пружного ковзання канату на проміжній опорі враховано фактор співпадання чи не співпадання напрямку ковзання з напрямком збільшення кута підходу бугеля до проміжної опори.

Отримано залежності для визначення величини тиску канату на проміжну опору, а відповідно і проміжні напруження. Це дасть можливість, з умови міцності, визначити основні параметри опори, які забезпечать оптимальні умови роботи канатної системи.

З метою забезпечення плавності та безпеки руху пасажирів запропонована конструкція підвісної канатної крісельної дороги з використанням механічних систем, які підвищують комфортність роботи доріг та їх простоту в експлуатації. Новизна дороги підтверджена патентом України.

## **МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ЗАХИСНОЇ АРМАТУРИ ДЛЯ ПОСУДИНИ, ЯКА ПРАЦЮЄ ПІД ТИСКОМ, З УРАХУВАННЯМ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ НАВАНТАЖЕННЯ МІЖ ЗАПОБІЖНИМИ КЛАПАНАМИ**

### **PROTECTIVE ARMATURE RELIABILITY MODEL FOR PRESSURE VESSELS WITH LOAD-SHARING BETWEEN THE SAFETY VALVES TAKING INTO ACCOUNT**

**Тетяна Стефанович, Сергій Щербовських**

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*Reliability model for determination of dependability and failure cause probability indices for protective armature of pressure vessel is proposed. The main model feature is that load-sharing between safety valves impact is taken into account.*

Посудини, які працюють під тиском – це герметичні ємності, призначені для здійснення технологічних процесів, а також для зберігання і перевезення речовин, що знаходяться під надлишковим тиском. Такі посудини відносять до об'єктів підвищеної небезпеки. Підвищення тиску в посудині вище допустимого може спричинити її вибух, і, як наслідок, руйнування технологічних конструкцій, травмування обслуговуючого персоналу та забруднення довкілля. Для запобігання підвищенню тиску в ній застосовують захисну арматуру, яка автоматично знижує тиск, якщо його величина у посудині перевищує встановлене оператором значення. Непрацездатність захисної арматури може стати причиною аварії. Метою дослідження є розроблення математичної моделі надійності захисної арматури. Така модель призначена для визначення ймовірності безвідмовної роботи захисної арматури, а



також кількісного аналізу причин її відмови. Новизна моделі полягає у тому, що в ній враховано як впливає перерозподіл навантаження між клапанами на досліджувані ймовірнісні показники. До складу захисної арматури входять трьохходовий кран 1, два запобіжні клапани 2 і 3, а також клапан граничного тиску 4 (рис. 1а). Якщо тиск у посудині перевищує робоче значення, то спрацьовують запобіжні клапани 2 та 3, і пара подається у трубопровід, який сполучений із атмосферою.

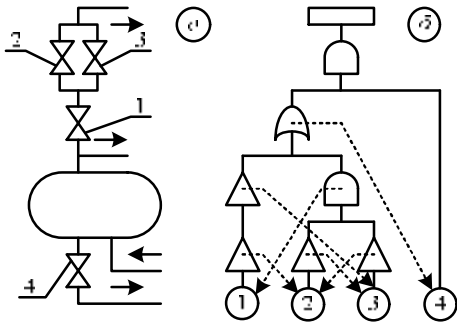


Рис. 1. Структурна системи та її дерево відмов

Вейбулла, а тривалість ремонтування – експоненціально. На підставі динамічного дерева відмов побудовано граф станів та переходів системи, а також сформовано однорідну марківську модель. У моделі враховані такі динамічні явища, як зміна навантаження клапана граничного тиску 4 залежно від стану крана 1 і клапанів 2 та 3; зміна навантаження трьохходового крана 1 залежно від стану групи запобіжних клапанів 2 і 3; зміна навантаження запобіжних клапанів 2 та 3 залежно від стану трьохходового крана 1; взаємна зміна навантаження запобіжних клапанів 2 і 3 залежно від їх стану.

## НАПРУЖЕНИЙ СТАН ПІДКОВОПОДІБНИХ ПРУЖИН ПРУЖНИХ МУФТ ІЗ ЗАЩЕМЛЕНИМИ КІНЦЯМИ

### STRESS STATE OF U-SPRINGS OF RESILIENT COUPLING WITH STRANGULATED ENDS

Володимир Стрілець, Олег Стрілець, Василь Завальський

Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна.

*The conditions for deformations and strength calculations of U-springs of resilient coupling with strangulated ends are given.*

Розглядаються пружні муфти захищені патентами України 88380 і 91799, у яких обертальний момент передається підковоподібними пружинами з кінцями, защемленими у складених кулачках. Така конструкція показана на рис. 1, а.

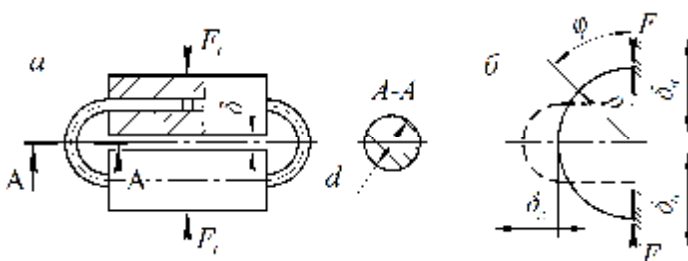


Рис. 1. Конструктивна схема установки і розрахункова схема підковоподібних пружин

навантаження  $F = F_t / 2$ , а  $\delta_v$  і  $\delta_h$  переміщення, відповідно вертикальне (поперечне) і горизонтальне (поздовжнє).

Для визначення переміщень  $\delta_v$  і  $\delta_h$  використані інтеграли Мора:

При вирішенні поставленої задачі прийняті припущення, щодо вибору зазору  $\delta$  кулачки муфти не деформуються, так як розміри їхнього поперечного перетину значно більші від розмірів підковоподібних пружин, а навантаження  $F_t$  прикладене на середині кулачків.

Оскільки конструктивна схема на рис. 1, а являє собою симетричну конструкцію, тоді достатньо розрахувати одну підковоподібну пружину, розрахункова схема якої показана на рис. 1,б, де

$$\delta_B = \int_0^S \frac{M_F M_1 ds}{EJ}; \quad \delta_F = \int_0^S \frac{M_F M_2 ds}{EJ},$$

де  $E$  – модуль пружності першого роду для матеріалу пружини;  $J$  – осьовий момент інерції перетину (див. рис. рис 1, а, перетин А-А), рівний  $J = \pi d^3 / 32$ ;  $M_1$ ,  $M_2$ , і  $M_F$  – згинаючі моменти взяті із побудованих епюр згинаючих моментів, відповідно від сил  $x_1=1$ ,  $x_2=1$  і  $F$ ;  $S$  – шлях інтегрування,  $dS = \rho d\varphi$ ;  $\rho$  – радіус кривини пружини;  $\varphi$  – поточне значення кута.

## НАПРУЖЕНИЙ СТАН ПІВЖОРСТКОЇ ПРИЗМАТИЧНОЇ ШПОНКИ ІЗ ЗАМКНУТИМИ ПРУЖНИМИ ДІЛЯНКАМИ НА ТОРЦЯХ

### STRESS STATE OF SEMIRIGID PRISMATIC KEY WITH CLOSED ELASTIC AREAS AT END FACES

Олег Стрілець

Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна.

*The conditions for stress state research of semirigid prismatic key with closed elastic areas at end faces are given in order to determine its deformations.*

У цій роботі розглядається з'єднання вала з маточиною деталі обертального руху за допомогою півжорсткої призматичної шпонки, показаної на рис. 1, яка являє собою пруток з округленими торцями зі стандартними розмірами поперечного перетину  $b$  і  $h$  та довжиною  $l$ .

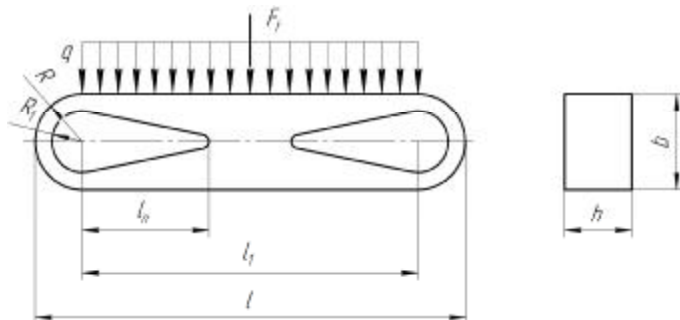


Рис. 1. Схема навантаження півжорсткої призматичної шпонки з замкнутими порожнистими ділянками зі сторони торців

На її крайніх ділянках виконані отвори, так, що кінці мають меншу жорсткість на довжині  $l_n$  і здатні деформуватись у примоточинній зоні, а із-за цього м'якіше передавати обертальний момент від вала до маточини і навпаки.

Напружений стан порожнистих торців приведеної шпонки при передаванні нею обертального моменту розглядається як рама з двома прямолінійними стержнями з'єднаними аркою, один стержень лежить на жорсткій основі (маточина), а на другий на довжині  $l_n$ , діє розподілене навантаження  $q$  зі сторони вала, який закручується. Для

даної рами приймається розрахункова схема, еквівалентна і основна системи і для них складаються канонічні рівняння методу сил:

$$\delta_{11}x_1 + \delta_{12}x_2 + \delta_{13}x_3 + \delta_{1F} = 0;$$

$$\delta_{21}x_1 + \delta_{22}x_2 + \delta_{23}x_3 + \delta_{2F} = 0;$$

$$\delta_{31}x_1 + \delta_{32}x_2 + \delta_{33}x_3 + \delta_{3F} = 0,$$

де  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{33}$  – переміщення, відповідно за напрямками сил  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$ , викликані відповідно силами  $x_1=1$ ,  $x_2=1$  і  $x_3=1$ ;  $\delta_{12}$  – переміщення за напрямком сили  $x_1$  від сили  $x_2=1$ ;  $\delta_{13}$  – переміщення за напрямком сили  $x_1$  від сили  $x_3=1$ ;  $\delta_{21}$  і  $\delta_{23}$  – переміщення за напрямком сили  $x_2$  від сил, відповідно  $x_1=1$  і  $x_3=1$ ;  $\delta_{31}$  і  $\delta_{32}$  – переміщення за напрямком сили  $x_3$  від сил, відповідно  $x_1=1$  і  $x_2=1$ ;  $\delta_{1F}$ ,  $\delta_{2F}$  і  $\delta_{3F}$  – переміщення, відповідно за напрямками сил  $x_1$ ,  $x_2$  і  $x_3$ , при дії на основну систему зовнішнього навантаження  $q$ . Переміщення  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{12}$ ,  $\delta_{13}$ ,  $\delta_{21}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{23}$ ,  $\delta_{31}$ ,  $\delta_{32}$ ,  $\delta_{33}$ ,  $\delta_{1F}$ ,  $\delta_{2F}$  і  $\delta_{3F}$  визначаються за допомогою інтегралів Мора.

## ОКРЕМІ ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ СФЕРИЧНИХ ШАРНІРІВ ДЛЯ ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ ПРИВОДІВ

### SOME PROBLEMS DESIGN AND PRODUCTION OF SPHERICAL HINGES FOR SPATIAL SYSTEM DRIVES

Сергій Струтинський

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.*

*The several problems of designing and manufacturing of spherical joints for the space of drives. The design of magnetic hinges with metal polymer composites, aerostatic and hydrostatic adjustable hinges, vacuum- aerostatic hinges and joints of multi levers ferromagnetic fluid.*

Просторові системи приводів є основою прогресивного технологічного обладнання. Розроблені ефективні конструкції маніпуляторів промислових роботів, пристроїв для обробки поверхонь, в тому числі в замкнених об'ємах. Запропоновані конструкції сервісних технологічних систем для переміщення об'єктів машинобудування.

Просторові системи включають гідравлічні або пневматичні приводи з'єднані між собою з утворенням просторових конструкцій типу тетраедрів або октаедрів. Проектування просторових систем приводів потребує вирішення ряду складних конструктивно-технологічних задач. Основними із них є розробка сферичних шарнірів, які з'єднують окремі приводи між собою.

В результаті проведених досліджень розроблені схемні і конструктивні рішення шарнірів, виготовлено дослідні зразки шарнірів та проведена їх апробація. Запропоновано кілька раціональних варіантів сферичних шарнірів.

Для точних малонавантажених систем приводів реалізовані магнітні сферичні шарніри виготовлені з металополімерного композиту. Шарнір має корпус у вигляді кільцевого постійного магніта. В порожнині корпусу знаходиться металополімерний композит із сферичною поверхнею, що взаємодіє із поверхнею сфери виготовленої із сталі. Відхилення поверхні сфери від сферичності складає 1...2 мкм. Тому сферичний шарнір має високу точність.

Розроблена спеціальна технологія виготовлення шарніра, яка полягає у формуванні металополімерного композиту безпосередньо по поверхні спряженої із ним сфери.

Для систем приводів із підвищеними показниками точності, надійності роботи та несучої здатності запропоновані аеростатичні та гідростатичні сферичні шарніри. Аеростатичні сферичні шарніри мають по чотири аеростатичні опори рівномірно розміщені по поверхні рухомої сфери. Підвищення несучої здатності досягається використанням гідростатичних опор. Запропоновані конструкції регульованих гідростатичних шарнірів, які мають струменеві систему регулювання положення сфери. Регульовані шарніри забезпечують мікропереміщення сфери в діапазоні  $\pm 25$  мкм. Це дає можливість суттєво підвищити точність просторової системи приводів.

Високі технічні характеристики мають розроблені вакуумно-аеростатичні сферичні шарніри. Шарнір має три аеростатичні опори, які взаємодіють з поверхнею рухомої сфери. Між опорами розміщено вакуумний сферичний прихват, який забезпечує надійне утримання сфери в номінальному положенні. Вакуумно-аеростатичні шарніри мають діапазон поперечно-кутових переміщень  $180^\circ$  і вище.

Розроблено низку конструкцій шарнірів з феромагнітною рідиною. Вони мають магнітні сфери з якими взаємодіють хвостовики чотирьох і більше важелів зв'язаних з приводами. Сфера і важелі знаходяться в еластичному кожусі заповненому феромагнітною рідиною.

Спеціальні конструкції хвостовиків забезпечують надійний контакт з магнітною сферою. Запропоновані конструкції шарнірів апробовані шляхом виготовлення дослідних зразків та експериментального дослідження їх характеристик.

Встановлено, що запропоновані конструкції мають значні переваги у порівнянні з традиційними шарнірами на опорах кочення. Розроблені конструкції шарнірів мають низькі сили тертя, широкі діапазони поперечно-кутових переміщень, забезпечують ефективне демпфування високочастотних вібрацій.

Розроблені варіанти сферичних шарнірів є ефективною елементною базою для створення просторових систем приводів, що є основою прогресивного технологічного обладнання.

## УМОВИ СТІЙКОСТІ ОДНОКРОКОВОЇ СХЕМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ДИНАМІЧНОЇ ТЕРМОПРУЖНОСТІ ГРІНА – ЛІНДСЕЯ

### STABILITY CONDITIONS OF ONE-STEP TIME INTEGRATION RECURRENT SCHEME FOR GREEN-LINDSAY DYNAMIC THERMOELASTICITY PROBLEM

Іван Чир<sup>1</sup>, Георгій Шинкаренко<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна;

<sup>2</sup>Опольська політехніка,  
вул. Станіслава Миколайчука, 5, м. Ополе, 46-020, Польща.

*This paper focuses on investigation of stability conditions for one-step recurrent time integration scheme for Green-Lindsay dynamic thermoelasticity problem. We introduce time integration scheme and build appropriate energy balance equations for it. Afterwards we derive upper bound of solution that results in stability of the scheme. Theoretical deductions are supplemented with actual modelling results.*

Доповідь присвячена чисельному розв'язуванню задачі динамічної термопружності Гріна-Ліндсея [2, 3], яка використовується для моделювання процесу фрикційного зміцнення приповерхневого шару металевих деталей рухомим зубчатим інструментом у такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{знайти вектор пружних зміщень } u = \{u_i(x, t)\}_{i=1}^d \\ \text{та приріст температури } q = q(x, t) \text{ такі, що задовольняють рівняння} \\ r(u_i'' - f_i) - s_{ji,j} = 0, \\ r c_E(q + t_0 q')' + q_{i,j} + T_0 g_{ij} e_{ij}(u') = w, \\ s_{ji}(u, q + t_0 q') = c_{ijkm} e_{km}(u) - g_{ij}(q + t_0 q') + a_{ijkm} e_{km}(u'), \\ q_i(q) = -l_{ij} q_{,j}, \quad e_{ij} = e_{ij}(u) = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}), \quad \text{в } \Omega \times (0, T], \\ \text{крайові умови} \\ u_i = 0 \quad \text{на } \Gamma_u \times [0, T], \Gamma_u \subset \Gamma, \text{mes}(\Gamma_u) > 0, \\ s_{ij} n_j = s_i \quad \text{на } \Gamma_s \times [0, T], \Gamma_s = \Gamma \setminus \Gamma_u, \\ q = 0 \quad \text{на } \Gamma_q \times [0, T], \Gamma_q \subset \Gamma, \text{mes}(\Gamma_q) > 0, \\ q_i n_i = 0 \quad \text{на } \Gamma_h \times [0, T], \Gamma_h = \Gamma \setminus \Gamma_q, \\ \text{та початкові умови} \\ u|_{t=0} = u_0, \quad u'|_{t=0} = v_0, \quad q|_{t=0} = q_0, \quad q'|_{t=0} = c_0 \quad \text{в } \Omega. \end{array} \right.$$

На основі відповідної варіаційної постановки задачі ми будемо однокрокову рекурентну схему її інтегрування в часі. Встановлено достатні умови стійкості цієї схеми з використанням рівняння балансу енергії.

Дослідження доповнюється числовими результатами модельних задач фрикційного зміцнення.

1. Чир І. Аналіз збіжності напівдискретних апроксимацій методу скінченних елементів для задачі динамічної термопружності / Чир І. // Конф. м. вч. "Підстригачівські читання - 2014". – 2014. – [Цит. 2014, 28 Вер.]. – Режим доступу: <http://iapmm.lviv.ua/chyt2014/theses/Chyr.pdf>. 2. Green A. Thermoelasticity / Green A.E., Lindsay K.E. // J. Elast. – 1972. – Vol. 2, №1. – PP. 1–7. 3. Ignaczak J. Thermoelasticity with Finite Wave Speeds / J. Ignaczak, M. Ostoja-Starzewski – Oxford Univ. Pres., 2009. – 432 p.

## СЕКЦІЯ 2

### ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН

#### ВИЗНАЧЕННЯ МІЦНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУВАННЯ ГАЗУ ЗА CNG-ТЕХНОЛОГІЄЮ МЕТОДАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

#### THE STRENGTH DETERMINATION OF THE MARINE GAS TRANSPORTATION ELEMENTS AT THE CNG-TECHNOLOGY BY SIMULATION MODELING METHODS

**Володимир Артим, Андрій Джус, Василь Михайлюк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The paper presents some aspects of determination of stressed-strained state of special tanks, made in the form of a rolling pipeline, in the context of changing gas pressure and temperature in the process of filling in the CNG vessels by simulation modeling methods.*

На сьогодні CNG-технології відносяться до найбільш наукоємних технологій, а їх реалізація вимагає розв'язання цілого комплексу проблем. Насамперед виникає питання щодо забезпечення надійної експлуатації елементів системи транспортування газу за умов циклічного навантажування внутрішнім тиском до 25 МПа і різких перепадів температури.

Рухомий трубопровід – довговимірний виріб, що конструктивно складений зі стандартних газопровідних труб, з'єднаних електрозварюванням у просторовий змійовик за допомогою стандартних відводів і розміщений безпосередньо на морському транспортному засобі. Основним завданням на стадії проектування є вибір і обґрунтування параметрів елементів рухомого трубопроводу з метою забезпечення їх надійної і безпечної експлуатації в заданих умовах.

Відомо багато праць, що присвячені розробленню технології транспортування стиснутого газу через морські акваторії. Однак питання поведінки елементів рухомого трубопроводу в процесі заповнення є малодослідженим.

Аналізуючи попередньо отримані результати досліджень процесів заповнення спеціальних ємностей, виконаних у вигляді рухомого трубопроводу, визначено нестационарний характер зміни температури газу по довжині трубопроводу. Різниця температури газу на окремих ділянках трубопроводу під час заповнення призводить до різних температурних видовжень. Особливої уваги це явище набуває з огляду на конструктивні особливості рухомого трубопроводу, який має форму просторового змійовика. У кінцевому результаті така форма зумовлює появу додаткових напружень у процесі зміни температури. Дослідження напружено-деформованого стану елементів рухомого трубопроводу проведено за допомогою імітаційного моделювання в програмному середовищі ANSYS Workbench.

Проведено аналіз отриманих під час досліджень даних, який виявив характерні особливості процесу заповнення рухомого трубопроводу з точки зору забезпечення його міцності. Визначені місця максимальної концентрації напружень, де необхідні додаткові заходи з посилення міцності. Також встановлено явище накладання короткочасних низькоамплітудних циклів температурних напружень на основний цикл з відносно великою амплітудою від зміни тиску газу на окремих локальних ділянках трубопроводу. Зважаючи на це, оцінювання довговічності елементів рухомого трубопроводу потрібно здійснювати з врахуванням двочастотності процесу навантажування. При цьому також необхідним є комплексне урахування параметрів навантажування і характеристик опору втомі елементів конструкцій, які підлягають впливу двочастотного навантажування. Для комплексної оцінки навантажень, що діють на елементи рухомого трубопроводу за повний цикл його роботи, потрібні подальші дослідження зміни їхньої температури та, відповідно, напружено-деформованого стану в процесі розвантаження.

# ТЕРМОПРУЖНИЙ НАПРУЖЕНИЙ СТАН БАГАТОШАРОВОЇ ТРУБИ З ДЕФЕКТАМИ СТРУКТУРИ З РІЗНИМИ УМОВАМИ ЗАКРІПЛЕННЯ НА ТОРЦЯХ

## THERMOELASTIC STRESS STATE MULTILAYER PIPES WITH DEFECTS UNDER DIFFERENT CONDITIONS FIXING THE ENDS

Сергій Верещака, Андрій Дейнека

Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.

*On the basis of the classical theory of elasticity of an anisotropic body compared stress-strain state of multilayer thick-walled cylinder of finite length under the action of internal pressure and temperature. The cylinder consists of  $N$  layers of differently oriented orthotropic layers. Kinematic and static contact conditions on the surfaces of adjacent layers are considered non ideal. The solution of the problem was obtained in axisymmetric setting.*

На основі класичної теорії пружності анізотропного тіла порівнюється напружено-деформований стан багатошарового товстостінного циліндра скінченної довжини з дефектами структури при дії внутрішнього тиску і температури. Для цього розв'язується двовимірний термопружна задача. Циліндр навантажений по циліндричних поверхнях  $r = r_a$  і  $r = r_b$  стаціонарними температурними навантаженнями  $t_a(z)$  і  $t_b(z)$  і рівномірно розподіленим по коловій координаті навантаженнями  $q_a(z)$  і  $q_b(z)$ . Вважається, що температурне навантаження і заданий по лицьових поверхнях тиск осесиметричний відносно поздовжньої осі циліндра. При цьому інтенсивність тиску змінюється вздовж меридіану і залежить від координати  $z$ . Циліндр має скінченну довжину  $l$ , а на його торцях виконуються умови вільного обпирання або жорсткого закріплення.

Для розв'язання поставленої задачі були складені рівняння рівноваги, фізичні та геометричні співвідношення, а також рівняння теплопровідності. За допомогою добре відомого підходу, побудованого на основі сплайн-апроксимації розв'язків [1] у напрямі твірної, розглянута задача зводиться до одновимірної. Розв'язання отриманої системи звичайних диференціальних рівнянь знаходиться за допомогою розкладання наведених розв'язків у ряди Тейлора в радіальному напрямі відповідно для кожного шару циліндричної оболонки [2]. Доповнюючи отриману систему алгебраїчних рівнянь механічними та температурними граничними умовами ідеального та неідеального контакту у точках сполучених поверхонь сусідніх шарів [3], неважко отримати остаточний розв'язок задачі.

Слід зазначити, що між різницею переміщень точок сполучених поверхонь сусідніх шарів і дотичними напруженнями у поздовжньому напрямі існує залежність  $u^{i-1}(r^i, z) - u^i(r^i, z) = k^i \tau_{rz}^i$ . У загальному випадку  $k^i$  – заданий параметр, який визначається шляхом чисельних та експериментальних досліджень. Як граничні значення з цього рівняння постають два варіанти:  $1/k^i = 0$  – спостерігається ідеальне прослизання суміжних шарів,  $k^i = 0$  – ідеальний контакт. Вважається, що радіальні напруження й переміщення при переході через поверхню розділу шарів стрибка не мають.

Проведені чисельні розрахунки для двох різних випадків закріплення кінців циліндра. Запропонований алгоритм розв'язання розглянутого класу задач дозволяє отримувати розрахункові дані для оцінювання впливу фізико-механічних характеристик окремих шарів на термопружний деформований стан неоднорідного за товщиною циліндра.

1. Григоренко, Я. М. Решение задач теории пластин и оболочек с применением сплайн-функций / Я.М. Григоренко, Н.Н. Крюков // Прикл. механика. — 1996. — Т. 36, № 6. — С. 3-27. 2. Shao Z. S. Mechanical and thermal stresses of a functionally graded circular hollow cylinder with finite length / Z.S. Shao // International Journal of Pressure Vessels and Piping. — 2005. — Vol. 82. — P. 155–163. 3. Верещака С.М. Исследование механических свойств стеклопластикового цилиндра с межслойными дефектами структуры / С.М. Верещака, И.Т. Караи, Д.А. Жигилий, А.В. Дейнека // Компрессорное и энергетическое машиностроение. — 2012. — №3(29). — С. 32–34.

**РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ДОКРИТИЧНОГО РОСТУ ПОВЗУЧО-ВТОМНОЇ ТРІЩИНИ В РАМІ ВІЗКА ЕЛЕКТРОВОЗА****THE CALCULATION MODEL OF DETERMINATION OF PERIOD OF SUBCRITICAL CREEP-FATIGUE CRACK GROWTH IN THE FRAME BOGIE ELECTRIC LOCOMOTIVE****Ірина Долінська<sup>1</sup>, Роман Ярема<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;<sup>2</sup>ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод»,  
вул. Залізнична, 1а, м. Львів, 79018, Україна.

*The mathematical model for describing the kinetics of creep-fatigue cracks growth in the frames bogies electric locomotive under variable in time loadings with various all times excerpt and on this base determination of the period of subcritical crack growth has been proposed. It is shown that by experimentally established constants of the material using the proposed analytical relations can easily determine residual resource of the elements frame bogie.*

Парк тягового рухомого складу України, особливо вантажних електровозів серії ВЛ, характеризується значним періодом експлуатації після вичерпання встановленого терміну служби. Заміна його сучасними типами локомотивів потребує тривалого часу та великих капітальних вкладень. У зв'язку з цим виникла проблема оцінювання залишкового ресурсу несучих конструкцій електровозів (зокрема рам його візків) для подальшої їх експлуатації, після вичерпання встановленого терміну служби.

У праці розглянуто випадок, коли під час руху локомотива на шкворневу балку рами візка діє постійна тягова сила  $P$ , яка збільшується (зменшується) за його старту (зупинки). Оскільки час зупинки чи старту локомотива є набагато меншим за час роботи у тяговому режимі, тому ними нехтуємо. Таким чином навантаження, що припадає на раму візка локомотива моделюємо циклічним навантаженням з витримкою  $T_1$  (тривалість руху поїзда в тяговому режимі) в циклі в умовах дії низькотемпературного поля  $T_0$  ( $T_0 < 0,5T_{пл}$ ,  $T_{пл}$  – температура плавлення матеріалу елемента конструкції), що забезпечує в основному процес повзучо-втомного руйнування. За сталого навантаження, яке домінує в циклі  $T_1$ , в шкворневій балці будуть зароджуватись повзучо-втомні тріщини, подальший ріст яких може призвести до руйнування балки, а відтак і до повного руйнування рами візка під час руху потяга.

З огляду на це на основі раніше запропонованої математичної моделі визначення періоду докритичного росту високотемпературних повзучо-втомних тріщин [1], побудована розрахункова модель для визначення залишкового ресурсу (періоду докритичного росту повзучо-втомних тріщин) шкворневої балки рами візка локомотива за дії неперервно змінного навантаження з різними часовими витримками. Вона базується на першому законі термодинаміки стосовно механіки заповільненого руйнування тіл в умовах дії змінного навантаження і низькотемпературної повзучості та домінуючої ролі при цьому періоду неусталеної повзучості. В результаті цього, для дослідження кінетики росту тріщин отримано аналітичні залежності у вигляді диференціальних рівнянь з відповідними початковими і кінцевими умовами. Модель ураховує характер експлуатування локомотива в тяговому режимі і передбачає мінімальну кількість експериментальних досліджень з визначення констант матеріалу. Це дало змогу створити на її основі методики розрахунку залишкового ресурсу силових елементів рухомого складу залізниць, під час використання їх у виробничих умовах.

1. Андрейків О.Є., Долінська І.Я., Яворська Н.В. Оцінка періодів зародження і поширення повзучо-втомних тріщин в тонкостінних елементах конструкцій // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2011. – № 3. – С. 7–15.

## АНАЛІЗ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВИХ КОЛИВАНЬ РОБОЧОГО КОЛЕСА НАСОСА З РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ

### ANALYSIS OF THE RADIAL-AXIAL OSCILLATIONS OF A PUMP IMPELLER WITH A BALANCING DEVICE

Олексій Жульов, Інна Жульова

Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.

*This paper presents the theoretical study of the system comprising an impeller and a balancing device. It deals with the dynamic analysis of the system, i.e., the axial vibrations of the impeller, and the system stability. The coupled radial-axial oscillations of onemass model of rotor of high-speed pump are considered taking into account hydrodynamic forces, arising up in the radial clearance of annular seals.*

Високооборотні насоси застосовуються в авіації, ракетобудуванні і в ряді випадків у хімічному і загальному машинобудуванні, енергетиці й інших областях техніки. Вони прості по конструкції, мають малі маси і габарити, високу економічність. У лопатевих насосах використовуються системи, призначені для зменшення поздовжньої сили, діючої вздовж осі вала. Їхня роль є важливою, оскільки вони забезпечують високу довговічність і надійність насоса, зниження енергетичних втрат.

На рис. 1 представлена схема одноступінчатого відцентрового насоса з робочим колесом 2, яке пов'язане з гнучким привідним валом 3 сферичним шліцьовим з'єднанням 4. Переднє 5 і елемент 6 заднього шпаринних ущільнень і торцевий зазор 8 з камерою 7, відіграють роль радіального і упорного саморегульованих гідростатичних підшипників робочого колеса. У корпусі насоса 1, за заднім кожухом робочого колеса, встановлені радіальні лопатки 9, які гальмують коловий потік у задній пазусі 10, при цьому в ній підвищується статичний тиск.

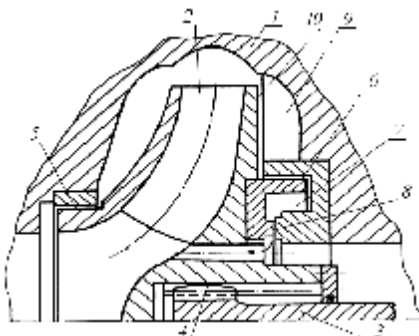


Рис. 1. Робоче колесо насоса з розвантажувальним пристроєм

Системи автоматичного зрівноваження осьових сил виконують одночасно функції саморегульованого безконтактного кінцевого ущільнення і радіально-упорного важко навантаженого гідростатичного підшипника. Осьові й радіальні гідродинамічні сили, що виникають у зазорах зрівноважувального пристрою, взаємозв'язані. В результаті система ротор-авторозвантаження під дією радіальної статичної незрівноваженості, пульсацій тиску нагнітання і гармонічних змін осьової сили, що діє на ротор, здійснює взаємозв'язані вимушені радіально-осьові коливання. На резонансних частотах амплітуди цих коливань можуть перевищувати допустимі межі, тому визначення резонансних (власних) частот і відстроювання від них має важливе практичне значення.

## АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙНОЇ МІЦНОСТІ СКЛАДЕНИХ ТІЛ ЗА НАЯВНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ

### THE ANALYSIS OF THE STRUCTURAL STRENGTH OF THE COMPOSITE BODIES UNDER ELECTROMAGNETIC FIELD ACTION

Денис Лавінський, Олег Морачковський

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна.

*The paper presents a General approach to the analysis of the structural strength of the composite bodies, which are exposed to electromagnetic fields. The presented approach is based on the preliminary definition of the vector components of the electromagnetic field and the tensor component of the stress-strain state. Numerical realization of the presented approach is based on the use of the finite element method.*



Фізичні поля різної природи є невід’ємним атрибутом роботи великої кількості технічних об’єктів. Це стосується і електромагнітного поля (ЕМП), яке впливає на роботу різноманітних перетворювачів енергії, технологічних систем магнітно-імпульсної обробки матеріалів (МІОМ) тощо. Наявність ЕМП призводить до деформування електропровідних тіл, яке може викликати втрату працездатності технічного об’єкту. Аналіз конструкційної міцності є обов’язковим етапом у процесі оцінювання працездатності технічних об’єктів. За наявності ЕМП такий аналіз повинен спиратись на визначення векторних складових ЕМП та тензорних компонент напружено-деформованого стану НДС конструкційних елементів. Розрахункові методи визначення складових ЕМП та компонент НДС повинні спиратись на відповідні моделі термомеханіки суцільного середовища. Відзначимо, що величезний внесок у розробку подібних моделей зробили у тому числі і вітчизняні вчені Я.Й. Бурак, О.Р. Гачкевич, О.М. Гузь, Я.С. Підстригач та інші.

Для складених тіл довільної геометрії найбільш перспективним є використання чисельних методів розв’язання задач механіки. Серед них виділяється метод скінченних елементів (МСЕ), який з успіхом застосовується до розв’язування та аналізу різноманітних фізико-механічних задач. Конкретна реалізація МСЕ для аналізу розподілу складових ЕМП та компонентів НДС базується на відшукуванні мінімуму повної енергії тіла, що деформується за наявності ЕМП. Зв’язаність ЕМП та механічних полів обумовлюється електромагнітними силами (ЕС). ЕС можуть мати різну природу (сили Лоренца, магнітні сили тощо), проте у даному підході автоматично обчислюються ті, які є превалюючими. Якщо знехтувати ефектами магнітострикції (дане спрощення припустимо, наприклад при аналізі технологічних операцій МІОМ), то зв’язана задача формально розпадається на дві «послідовні»: аналіз розподілу ЕМП та аналіз НДС. Ефекти контактної взаємодії можуть бути врахованими шляхом введення контактних шарів, які об’єднують окремі конструкційні елементи у рамки спільної розрахункової моделі. Варіювання фізико-механічними характеристиками шарів надає можливість моделювати різні види контактної взаємодії.

Із застосуванням наведеного методу були проведені відповідні розрахунки та аналіз розподілу ЕМП та НДС для спільних розрахункових схем «індуктор – заготовка» реальних технологічних систем МІОМ. Одержані просторово-часові розподіли векторних складових ЕМП та просторові розподіли тензорних компонент НДС (на максимумі ЕМП). За допомогою одержаних розподілів проведено оцінювання міцності індукторів, як основних елементів технологічних систем, та зроблені рекомендації по вибору параметрів зовнішнього ЕМП з метою покращання результатів технологічних операцій.

## ОЦІНЮВАННЯ МІЦНОСТІ ТА РИЗИКУ РУЙНУВАННЯ ДЕФЕКТОМІСТКОЇ ДІЛЯНКИ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ «ТОРЖОК – ДОЛИНА»

### THE EVALUATION OF THE STRENGTH AND DESTRUCTION RISK OF THE MAIN GAS PIPELINE “TORGOK - DOLYNA” SECTIONS CONTAINING DEFECTS

Олег Лепак

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The results of the pipe inside diagnostics of the main gas pipeline “Torgok - Dolya” section are analyzed. The conditions of destruction of the main gas pipeline defective sections according to the size of the corrosive-mechanical defects (length  $l$  and depth  $c$ ) and the average speed of their spreading are calculated. The calculation procedure, which can be used for rapid assessment of the operational suitability of the main gas pipelines defective sections is proposed.*

Розглядалася ділянка  $L = 123,3$  км газопроводу «Торжок – Долина», яка експлуатувалася на протязі 38 років. Об’єктом досліджень була газопровідна труба виготовлена зі сталі 10Г2БТ ( $\sigma_B = 608,0$  МПа) з зовнішнім діаметром  $D = 1420$  мм та товщиною стінки  $t = 18,7$  мм, що експлуатувалася при робочому тиску  $P = 7,4$  МПа.

Визначали руйнівний тиск ( $P_f$ ) та безпечний термін експлуатації ділянки газопроводу ( $T$ ). При цьому враховували той факт, що в процесі тривалої експлуатації відбувалося зниження міцності газопроводу, яке враховує відповідний коефіцієнт ( $k_T = \frac{k_z}{\sqrt{C_d}}$ ), що враховує зміцнення сталі ( $k_z$ ) та її деформаційне старіння ( $C_d$ ). При визначенні безпечного терміну експлуатації газопроводу ( $T$ ) враховували середню швидкість розвитку корозійно-механічних дефектів ( $V$ , мм/рік).

Руйнівний тиск ( $P_f$ ) для газопроводу з корозійно-механічними тріщиноподібними дефектами визначали згідно з норвезькими нормами DNV RP-F101, враховуючи при цьому коефіцієнт зниження міцності газопроводу ( $k_T$ ), за залежністю:

$$P_f = k_T \cdot \frac{2\sigma_B \cdot t}{D - 2t} \cdot \left[ \frac{1 - (c/t)}{1 - \frac{(c/t)}{q}} \right], \quad (1)$$

$$\text{де } q = \sqrt{1 + 0,31 \cdot \left( \frac{L}{\sqrt{D \cdot t}} \right)^2}.$$

Можливість подальшої експлуатації газопроводу проводили за прийнятою та європейською методикою SINTAP, в основі якої лежить оцінка допустимої глибини корозійно-механічного дефекту [ $c$ ] в трубі для якої коефіцієнт запасу міцності  $S_r$  (коефіцієнт безпеки), що є відношенням максимального робочого ( $P_p$ ) до розрахованого руйнівного ( $P_f$ ) тиску.

Запропонована розрахункова процедура оцінки руйнівного та допустимого значення тиску для тривало експлуатованих нафтопроводів з корозійно-механічними дефектами, що розвиваються із деякою постійною швидкістю і в довжину, і в глибину, яка дозволяє здійснити експрес-оцінку працездатності дефектних ділянок магістральних нафтопроводів за аналізом дефектів та визначити терміни наступних діагностичних оглядів.

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПІРНИХ ТОРЦЕВИХ ІМПУЛЬСНИХ УЩІЛЬНЕНЬ

### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF BUFFER FACE IMPULSE SEALS

Дмитро Лісовенко, Андрій Загорулько

Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.

*The purpose of investigations was checking of buffer face impulse seals operability under different operating parameters such as rotational shaft speed, sealed and buffered pressures.*

При створенні турбомашин різного призначення одна з головних проблем полягає в розробленні надійних і герметичних ущільнень. Складність цієї проблеми різко зростає зі збільшенням робочого тиску і швидкості обертання ротора. Найпоширенішими ущільненнями, які використовуються в турбомашинах, вважаються механічні ущільнення на газовому мащенні, які у наш час майже повністю замінили ущільнення на рідинному мащенні.

Метою експериментальних досліджень була перевірка працездатності запірних торцевих імпульсних ущільнень компресора синтез-газу при різних робочих параметрах: частоті обертання вала, тиску ущільнюваного і запірних середовищ. Випробування проводилися для різних матеріалів кілець торцевої пари. Параметрами, що вимірювалися, були: середня температура аксіально-рухомого кільця ущільнення, частота обертання вала, тиск ущільнюваного і запірних середовищ, величина витоків через ущільнення. Випробування проводилося на розгінному і усталеному режимах.

Були отримані такі експериментальні характеристики:

- залежність витоків через ущільнення від величини тисків ущільнюваного та запірного середовищ,
- залежність витоків через ущільнення від частоти обертання вала,
- залежність температури аксіально-рухомого кільця від часу випробувань ущільнення на одному режимі при сталому перепаді тиску і частоті обертання вала.

Методика проведення експерименту складалась з наступних етапів:

1. Подача компресором повітря в колектор тиску. За допомогою редукторів встановлювалися необхідний ущільнюваний і запірний тиски.
2. Подача тиску ущільнюваного середовища і перевірка герметичності пар тертя на стоянці без запірного тиску.
3. Подача тиску запірного середовища і перевірка на стоянці.
4. Встановлення необхідного перепаду тиску (0,2 – 0,5 МПа) між ущільнюваним і запірним середовищами для розвантаження контактної пари і безконтактного пуску ущільнення.
5. Пуск двигуна, плавне збільшення частоти обертання до робочої (3000 – 12900 об/хв).

За результатами досліджень можна зробити такі висновки: запірне імпульсне ущільнення має незначні витoki на всіх робочих режимах обертання вала і перепадах тиску; в ущільненні забезпечується безконтактний режим роботи при обертанні вала і контактний режим на стоянці; при збільшенні ущільнюваного тиску (понад 3 МПа) значно збільшуються витoki, що пов'язано з деформацією кілець ущільнення, тому потрібно використовувати пари тертя з твердих матеріалів і попередньо розраховувати їхні силові й температурні деформації за допомогою методу скінченних елементів.

## ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУЧКИХ ТРУБОПРОВОДІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

### DETERMINATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF FLEXIBLE HIGH PRESSURE PIPELINES

Віктор Пурдик, Михайло Поздняков

Вінницький національний технічний університет,  
бул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна.

*The paper deals with experimental verification of the dynamic characteristics of high-pressure sleeves. Also, relationships presented, which make it possible to calculate the value of the main dynamic indicator – the compliance coefficient.*

У сучасних умовах використання різноманітного технологічного обладнання та машин широко використовуються гідравлічні приводи, яким немає альтернативи за питомою потужністю та діапазоном регулювання. Практично в кожному з них, крім металевих трубопроводів, використовуються і гнучкі, особливо на рухомих виконавчих органах. В зв'язку з цим, динамічні характеристики гнучких трубопроводів безпосередньо впливають на динаміку гідроприводу в цілому. На сьогодні не існує єдиної аналітичної та ефективної методики визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску (РВТ), в першу чергу через складність їх будови, яка представляє собою композитну структуру з низки гумових, тканих та металевих шарів.

До того ж на процес деформації РВТ істотно впливає вид і форма металевого обплетення. Наприклад, якщо обплетення виконано у вигляді спіралі, то деформація в радіальному напрямі буде незначною, а в осьовому буде мати значну величину. При упакуванні обплетення у вигляді сітки ситуація є протилежною.

При використанні РВТ процес акумулювання енергії визначається ефектом стискання робочої рідини і деформації внутрішніх порожнин магістралей рукава, оцінювання яких зручно виконувати за допомогою коефіцієнта податливості  $K(p)$ , що характеризує сумарну зміну одиниці об'єму порожнини рукава і робочої рідини, яке відповідає одиничній зміні об'єму.

Для вивчення динаміки гідромеханізмів з РВТ магістралями необхідно знати динамічний коефіцієнт податливості  $K_d(p)$ , величина якого найбільш достовірно може бути визначена в результаті проведення експериментальних досліджень.

Визначається статичний коефіцієнт податливості PBT за формулою

$$K(p) \approx \frac{\Delta W}{W_0 \Delta p},$$

де  $\Delta W$  – зміна об'єму рідини в порожнині PBT;  $W_0$  – початковий об'єм, відомий з конструктивних параметрів PBT;  $\Delta p$  – зміна тиску у внутрішній порожнині рукава.

Автори роботи пропонують конструкцію стенда для проведення експериментальних досліджень динамічних характеристик PBT, а також спеціальну методику їх проведення, яка дозволяє отримати достовірні значення КД( $p$ ) для конкретної конструкції рукава.

## ПРОСТОРОВИЙ ЗГИН НИЗУ БУРИЛЬНОЇ КОЛОНИ З ОПОРНО-ЦЕНТРУВАЛЬНИМ ЕЛЕМЕНТОМ

### THREE DIMENSION BENDING OF DRILL STRING BOTTOM ASSEMBLY WITH CENTRALIZER

**Руслан Рачкевич**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*Objective of this publication is development of analytical method for bending and normal stresses determination in drill string bottom assembly with centralizer. Three dimension model of elastic beam deformation is used. System of differential equations of elastic beam equilibrium in projections on moving axles is prepared depend on peculiarity of drill string bottom load. This system was solved by numerical method.*

Сьогодні більшість свердловин для видобування нафти та газу буряться в складних геологічних умовах. За таких обставин, однією з першочергових задач є реалізація безпечної експлуатації компонування низу бурильної колоні. Вирішення цього завдання, крім іншого, потребує розроблення методів аналітичного моделювання напружено-деформованого стану бурильних труб, що входять до компонування, враховуючи основні чинники їх зовнішнього навантаження. Серед таких можна відзначити осьову силу стиску, реактивний крутний момент на долоті та власну вагу труб.

Розв'язання цієї задачі здійснено опираючись на положення теорії просторового нелінійного згину гнучких стрижнів. Зокрема чисельним методом отримано розв'язок системи з 12-ти диференціальних рівнянь рівноваги однорозмірного компонування низу бурильної колоні з одним опорно-центрувальним елементом.

Для визначення величини, напряму, точки прикладання та, власне, наявності чи відсутності односторонніх реакцій між бурильною колоною та стінкою свердловини, запропоновано метод, суть якого полягає в наступному: за допомогою системи вкладених циклів визначаються деформації пружної осі низу бурильної колоні, що навантажується змінними за модулем зосередженими силами, які імітують реакції стінок свердловини на долоті та опорно-центрувальному елементі. Для комбінацій сил, за дії яких прогин пружної осі не перевищує радіальний зазор, визначається потенціальна енергія згину стержня. Форма пружної осі компонування низу бурильної колоні, для якої потенціальна енергія деформації стрижня мінімальна, приймається за шукану.

Розрахунок можна застосовувати для прямолінійних ділянок свердловин з довільним значенням зенітного кута.

Використовуючи розроблений метод та прийнявши в якості вихідних даних одну з конструкцій компонування низу бурильної колоні, отримано графічні залежності прогину пружної осі та нормальних напружень згину від повздовжньої координати (рис. 1).

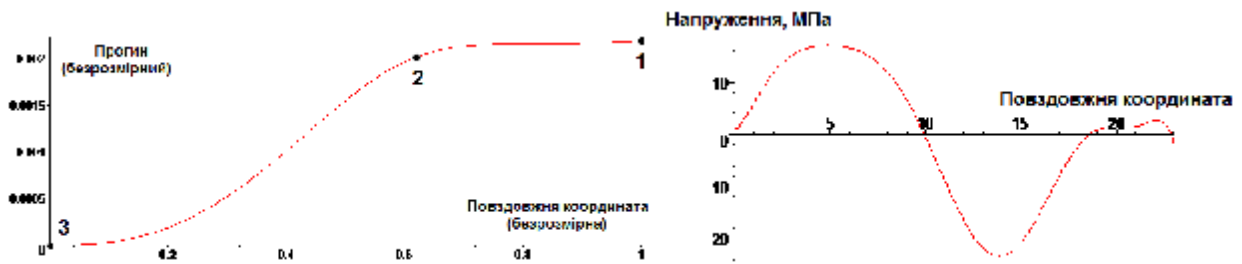


Рис. 1. Результати моделювання напружено-деформованого стану компонування низу бурильної колони

Крім вищезазначеного, запропонований метод моделювання дає змогу визначити дві взаємно перпендикулярні складові реакції на долоті та опорно-центрувальному елементі, що є важливою інформацією при оцінюванні спрацювання низу бурильної колони та забезпеченні потрібного профілю свердловини.

## СЕКЦІЯ 3

## МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ І МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ

## ЧИСЛОВИЙ ПЕРЕХІД ВІД НАПРУЖЕНЬ У ФОТОВ'ЯЗКОПРУЖНІЙ ОРТОТРОПНІЙ МОДЕЛІ ДО НАПРУЖЕНЬ У НАТУРНОМУ ТІЛІ

## NUMERICAL RECALCULATION STRESS WITH PHOTOVISCOELASTIC ORTOTROPIC MODELS ON A NATURAL BODY

Леонід Войтович<sup>1</sup>, Михайло Малезик<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна;<sup>2</sup>Національний педагогічний університет ім. М. П. Драгоманова,  
вул. Пирогова, 9, м. Київ, 01601, Україна.

*The way of recalculation pressure from photoviscoelastic model on a nature in flat tasks of the mechanics ortotropic is offered. For an estimation of a way the recalculation of pressure with from model on a nature in a task having the theoretical decision will be carried out.*

Поляризаційно-оптичний метод анізотропних тіл дозволяє визначити напружено-деформований стан у плоских моделях з оптично-чутливого анізотропного матеріалу [1]. Зокрема, метод застосовувався при визначенні коефіцієнтів концентрації поблизу отворів в анізотропних пластинах, визначенні коефіцієнтів інтенсивності напружень у вершині тріщини, що знаходиться в ортотропній пластині [2]. Однак актуальним є питання про ефективність та доцільність застосування цього методу для розв'язування задач з наступним переходом від напружень у моделі до напружень у деталі чи конструкції з натурального анізотропного матеріалу.

У цій роботі на основі загальних принципів моделювання напруженого стану методом фотопружності та загальної теорії подібності розроблено спосіб перерахунку напружень з фотов'язкопружної моделі на натурне тіло в плоских задачах механіки ортотропних тіл.

Розглянемо спосіб перерахунку напружень з моделі на натурне тіло, що не вимагає жорстких обмежень на властивості модельних матеріалів. Враховуючи умови геометричної і силової подібностей моделі та натури вираз для напружень  $T_i$  в плоскому ортотропному тілі подамо у вигляді

$$T_i = \frac{a_i}{h_i \beta_i} \left[ \varphi_i(\mu) \frac{P}{\lambda_1} f_1 \left( \frac{x}{l_1}, \frac{y}{l_2} \right) + \psi_i(\mu) \frac{Q}{\lambda_2} f_2 \left( \frac{x}{l_3}, \frac{y}{l_4} \right) + \frac{R}{\lambda_3} f_3 \left( \frac{x}{l_5}, \frac{y}{l_6} \right) \right],$$

де  $a_i$  і  $b_i$  – значення силової та геометричної подібності,  $h_i$  – товщина пластини,  $P, Q, R$  – множники, що мають розмірність сили,  $f_1, f_2, f_3$  – безрозмірні функції,  $l_i, l_i$  – величини, що мають розмірність довжини,  $j_i(m), y_i(m)$  – дійсні функції комплексних параметрів. Напруження  $T_i$  в моделях визначаються експериментально методом фотопружності, функції комплексних параметрів  $j_i, y_i$  – за відомими величинами пружних констант для моделей.

Експериментальні дані показують, що запропонований спосіб перерахунку з моделі на натурне тіло надає можливість з достатньою для інженерних розрахунків точністю визначати напруження в натурних деталях з ортотропних матеріалів. Для цього потрібно знати напруження в трьох геометрично подібних моделях, а також треба щоб навантаження моделей було подібним.

1. Нетребко В.П., Васильченко И.П. Поляризационные методы механики композиционных материалов. – М.: Изд-во Моск. ун-та. –1990. –160 С. 2. Войтович Л.В., Малезик М.П., Чернышенко И.С., Исследование разрушения вязкоупругих ортотропных пластин с трещиной // Прикл. механика. – 2010. – 46, №6. – С.76-82.

## ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ У СКЛАДІ КОНСТРУКЦІЙ КОМБІНОВАНОГО ТИПУ

### PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS CONSISTING OF STRUCTURAL COMPOSITE TYPE

Ігор Гойсан

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The necessity of detailed studies of the effect of the joint action of operating loads on the durability of composite structures for the transportation of compressed gas through offshore zones.*

На даний час велика увага надається зміщенню акценту на світовому ринку у використанні конструкційних матеріалів від металевих до неметалевих. Аналіз зарубіжних джерел, а також загальні тенденції розвитку матеріалознавства показують, що на сьогодні інтенсивно ведуться розробки і дослідження в області композиційних матеріалів, армуючих компонентів, зв'язуючих для них. Композиційний матеріал (композитний) складається з високоміцного наповнювача, орієнтованого в певному напрямку, і матриці. При цьому він виступає як єдине структурне ціле і володіє властивостями, яких не мають складові його компоненти.

Механічні властивості композиту в основному визначаються властивостями армуючих волокон, міцність яких забезпечується полімерною матрицею і її адгезією до волокна, здатністю матриці розподіляти навантаження між волокнами та зберігати монолітність матеріалу. Подальше збільшення міцності волокна не завжди приводить до збільшення міцності композиту, що пов'язано з характером його руйнування. Механізм руйнування волокон характеризується зародженням мікрodefектів у локальних об'ємах матриці і у самому волокні (так зване розтріскування), їх подальше накопичення та в результаті розшарування на межі «матриця – волокно».

Особливістю композиційних матеріалів є анізотропність їх властивостей (тобто залежність фізичних, в тому числі механічних, властивостей матеріалів від їх напрямку), яка визначається орієнтацією армуючих волокон. Задану міцність матеріалу отримують, орієнтуючи волокна наповнювача в напрямку дії основних зусиль. Саме такий механізм реалізується за умов виготовлення посудин високого тиску комбінованого типу, в яких герметична металева оболонка поєднується із силовою циліндричною оболонкою з композиційного матеріалу.

Однак недолік аналогічних конструкцій, що експлуатуються під дією навантажень, зокрема, під дією внутрішнього тиску – це низька стійкість до тріщин впоперек волокон. Слід зазначити, що склопластики при навантаженні мають тенденцію до прогресуючого і незворотного пошкодження. В деяких випадках навантаження при виникненні ушкоджень складає всього лише 10% від відповідної статичної границі міцності. Детальний характер пошкодженості залежить від багатьох факторів, що характеризують вид навантаження, розташування армуючих елементів, властивості матриці і поверхні розділу. В умовах розтягування перша ознака пошкодженості зазвичай проявляється у вигляді відшаровування волокон від матриці в місцях, де волокна перпендикулярні напрямку навантажування. З ростом навантаження пошкодженість збільшується аж до повного розділення зразка, і як показали дослідження, процеси руйнування залежать і від часу, і від числа циклів.

Особливої актуальності ці питання набувають за умов реалізації технології транспортування стисненого газу через морські акваторії, яка передбачає використання трубопроводів високого тиску двошарової комбінованої конструкції. Внутрішній шар складають стандартні сталеві прямошовні труби та перехідники, зовнішній шар – композиційний матеріал, виконаний кільцевим намотуванням волокнистого матеріалу перпендикулярно до поздовжнього шва. Дія внутрішнього тиску газу для цих конструкцій значною мірою може підсилюватися зміною температури як навколишнього середовища, так і самого газу. Зважаючи на це, необхідними є детальні дослідження впливу спільної дії експлуатаційних навантажень на довговічність комбінованих конструкцій, призначених для транспортування стисненого газу через морські акваторії.

## ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ КОМБІНОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ

## THE INFLUENCE OF OPERATING CONDITIONS ON THE DURABILITY OF COMBINED CONSTRUCTIONS

Андрій Джус

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

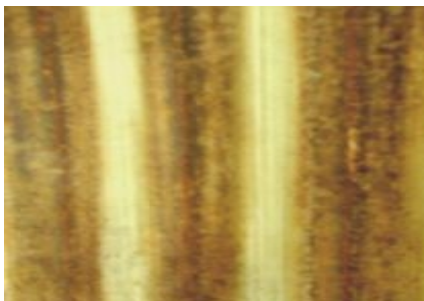
*Considering the peculiarities of the processes that are implemented during transportation of compressed natural gas was proved the necessity for experimental research models combined design capacities in operating conditions.*

З метою транспортування стиснутого природного газу використовують посудини високого тиску різноманітних конструкцій. За умов невеликої кількості транспортованого газу розповсюдження отримали циліндричні сталеві ємності високого тиску із зовнішнім композитним підсиленням. Для транспортування великої кількості газу, зокрема морськими шляхами, пропонуються великі ємності, утворені бухтами згорнутої безперервної труби. В окремих випадках ємності такої конструкції називають рухомих трубопроводом.

Для зниження маси ємностей також пропонують використовувати двошарову комбіновану конструкцію. В процесі експлуатації ємності зазнають циклічного навантажування внутрішнім тиском та перепадів температури. Безпосередньо процес заповнення рухомих трубопроводів на початковому етапі супроводжується розширенням газу і, як наслідок, різким зниженням його температури. Подальше заповнення супроводжується поступовим підвищенням температури газу, незважаючи на її початкові значення. Розвантаження ємностей супроводжується охолодженням газу. Загалом температурні коливання зумовлені особливостями технологічного процесу та періодично підсилюються коливаннями навколишнього середовища.

Вже після обов'язкових гідровипробувань у структурі композиційного матеріалу відбувається утворення мікротріщин. Характерне потріскування чутно за рівня напружень у матеріалі, далекому від руйнівних. В подальшому потріскування зникає. Таким чином, ознаки первинного потріскування композиту під навантаженням визначають нижній поріг тріщиноутворення. Оскільки вклад зв'язуючого в загальну міцність композитного підсилення стінки становить не більше 3%, на першому етапі процеси тріщиноутворення не призводять до помітного її зниження. Однак при подальшій експлуатації під впливом багатократних і циклічних навантажень тріщини можуть стати першопричиною зниження міцності і подальшого руйнування конструкції.

Підтвердженням цьому є результати аналізу стану поверхні контакту композитного підсилення зі сталевим балоном після тривалої їх спільної експлуатації. Як бачимо (рис. 1), площа зчеплення основного і підсилюючого шарів становить близько 30% (світлі смуги).



*Рис. 1. Стан поверхні контакту композитного підсилення зі сталевим балоном після тривалої експлуатації*

Посередині, між ділянками зчеплення, явно виражені кільцеві тріщини, проникність яких зумовлює утворення темних смуг. Причиною утворення такої картини є не тільки періодична зміна внутрішнього тиску, що є основним навантаженням, а й зміна температури газу. Це, в свою чергу, зумовлює температурні деформації, які, з огляду на властивості матеріалів конструкції, є різними за значенням і сприяють утворенню тріщин у композиті та площин ковзання матеріалів на поверхні їх контакту.

Таким чином, одним зі шляхів забезпечення надійної експлуатації ємностей комбінованої конструкції, за умов циклічного навантажування, є проведення експериментальних досліджень їхніх моделей в умовах, що максимально відповідають експлуатаційним.



## МІКРОМЕХАНІЧНА МОДЕЛЬ РОСТУ МАЛИХ ВТОМНИХ ТРІЩИН

### MICROMECHANICAL MODEL OF SMALL FATIGUE CRACKS GROWTH

Наталія Івантишин

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна.

*The paper presents some aspects of determination of fatigue limit of polycrystalline material with inclusions. The formula for setting the fatigue strength of material was obtained. It allows you to predict the degree of influence of inclusions (shape, size, nature) on fatigue strength of the material.*

Природа переважної більшості конструкційних матеріалів така, що у їхній структурі завжди присутні включення. Кількість цих включень, їхній склад, форма, розміри, можуть суттєво впливати на властивості матеріалів. Механізми впливу неметалічних включень на границю втоми матеріалу досліджені ще не достатньо.

Вивчимо втомну поведінку металічного полікристалічного матеріалу в околі одного з включень, що містяться в його структурі. Ефектом взаємовпливу включень на даному етапі досліджень знехтуємо. В рамках плоскої задачі розглянемо нескінченне пружне тіло, що містить включення у вигляді еліпса з півосями  $a$  і  $c$  ( $a \gg c$ ). Приймаємо, що вздовж поверхні поділу матеріалів має місце ідеальний механічний контакт. Біля включення в результаті дії осьових циклічних навантажень розтягом-стиском утворилася мікротріщина пластична зона якої блокується мікробар'єром. Для спрощення моделі розмір зерна матеріалу будемо вважати постійним і рівним  $d$ , також, вважатимемо, межі зерен, єдиними бар'єрами на шляху росту тріщини. За бар'єр приймемо невелику зону на краю зерна довжиною  $r_0$  ( $r_0 < d$ ).

Виходячи з такої концепції, значення мінімальних навантажень, за яких тріщина подолає бар'єри, повинні дорівнювати границі втоми матеріалу. За амплітуд, менших від границі втоми, в тілі можуть існувати непоширні тріщини, максимальний розмір яких сумірний з розміром зерна. Виходячи з таких позицій, після розв'язання відповідної крайової задачі теорії пружності для тріщини в околі включення, що взаємодіє з мікроструктурним бар'єром, отримаємо співвідношення для встановлення границі втоми матеріалу. Воно дозволяє прогнозувати ступінь впливу включень (форми, розмірів, природи) на втомну міцність матеріалу.

1. Панасюк В.В. Концентрация напряжений в трехмерных телах с тонкими включениями / В.В.Панасюк, М.М.Стадник, В.П.Силованюк – К.: Наук. думка, 1986. – 215 с. 2. Valleslano C. A micromechanical model for small fatigue crack growth: an approach based on two threshold conditions / C. VALLELLANO, J. VÁZQUEZ, A. NAVARRO, J. DOMÍNGUEZ // Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures - 2009 V. 32, P. 515–524. 3. Панасюк В.В. Механика квазихрупкого разрушения материалов – К.: Наук. думка, 1991. – 416 с.

## ПРОБЛЕМИ ВИКОНАННЯ РЕМОНТУ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ ВИБІРКОВИМ СПОСОБОМ

### PROBLEMS OF THE REPAIRS OF TRUNK PIPELINES SAMPLING METHOD

В'ячеслав Корець

Національний транспортний університет,  
вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010, Україна.

*Today the linear part of oil and gas transportation system of Ukraine, which is designed for long-term use, is in poor condition. Lifetime more than half pipelines exceeded their depreciation age, that does not guarantee their safe use and contributes to failures and accidents, compliance with which must be reduced to zero. Out of this situation - timely overhaul of pipelines.*

На сьогоднішній день лінійна частина нафто- та газотранспортної систем України, що розрахована на тривале використання, перебуває в незадовільному стані. Термін експлуатації більшої половини магістральних трубопроводів перевищив свій амортизаційний вік, що не гарантує їх надійне використання і сприяє виникненню відмов та аварій, відповідність яких повинні бути зведена до нуля. Вихід з цього становища – своєчасний капітальний ремонт трубопроводів.

Традиційно капітальний ремонт з повною заміною трубопроводу, чи заміною його ізоляційного покриття, виконувався за плановою системою, в основу якої покладено досягнення визначеного терміну експлуатації трубопроводу. Сьогодні застосування такого методу ремонту не є реальним, оскільки це зумовлено незадовільними темпами його виконання та великою вартістю робіт. Виходячи зі складного економічного й технічного становища, в якому знаходиться країна, більш прийнятним є вибіркового капітальний ремонт. Він передбачає ремонт тільки потенційно небезпечних ділянок магістральних трубопроводів (МТ) з відновленням несучої здатності стінок труби.

Збереження вихідного положення трубопроводу відіграє надзвичайно важливу роль при вибіркового ремонті МТ. Відхилення від проектного положення трубопроводу супроводжуються зміною напружено-деформованого стану тіла труби та можуть призвести до виникнення цілого ряду дефектів. При просіданні засипаного ґрунту під трубою зміна положення МТ неминуча. В такому випадку існує потреба в його ущільненні з метою створення стійкої структури ґрунтового ложа під відремонтованим трубопроводом.

В нормативних документах вказано, що ущільнення ґрунту під відновленою трубою є однією з основних вимог до технологічного процесу при вибіркового ремонті лінійної частини МТ. Проте після реставрації стінок труби та відновлення ізоляційного покриття ґрунт, що засипається під МТ, ущільнюється зазвичай обладнанням, яке не може забезпечити достатньої щільності масиву ґрунту чи створює додаткові неконтрольовані напруження в тілі труби, а це неприпустимо.

Виконаний аналіз існуючих ґрунтоущільнювальних механізмів, які змогли б ефективно виконувати ґрунтоущільнювальні роботи в траншеї з присутньою ній трубою, дає право стверджувати про необхідність створення універсального ґрунтоущільнювального обладнання. Не вирішення суто технічних питань може призвести до втрати нафто- та газотранспортних систем країни.

У порядку вирішення зазначених вище питань нами створена конструкція ґрунтоущільнювального механізму, як навісного обладнання на однокішшовий гідравлічний екскаватор, що дозволяє ущільнювати ґрунт під МТ в обмежених просторових умовах, забезпечує рівномірне ущільнення ґрунту з обох боків трубопроводу і при цьому не створює додаткових напружень в тілі труби.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ КОЛИВАНЬ ТА ВЛАСНІ ЧАСТОТИ ШАРУВАТИХ КОМПОЗИТНИХ ПЛАСТИН ЗА ДИСКРЕТНОГО РОЗГЛЯДУ СКЛАДОВИХ

### MATHEMATICAL MODEL OF THE VIBRATIONS PROCESS AND NATURAL FREQUENCIES OF LAYERED COMPOSITE PLATES FOR DISCRETE CONSIDERATION OF COMPONENTS

Михайло Марчук<sup>1,2</sup>, Віра Пакош<sup>1</sup>, Володимир Харченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України,  
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна;

<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>3</sup>ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М. К. Янгеля,  
вул. Криворізька, 3, м. Дніпропетровськ, 49008, Україна.

*On the basis of the proposed a mathematical model of the vibrations process of layered composite plates the analytical expressions for their natural frequencies is obtained. The influence on their values of the taking into account the discrete structure by the thickness is investigated.*

Запропоновано математичну модель процесу вільних поперечних коливань шаруватих пластин-смуг за дискретного розгляду їхніх складових. Для цього використано співвідношення варіанта

уточненої теорії пластин, у яких явно враховано податливість до трансверсального зсуву та неявно – до стиснення [1] при одночасному виконанні граничних умов у напруженнях на лицевих площинах. На цій основі отримано аналітичний вираз для спектра власних частот двошарової пластини-смуги за умови шарнірного закріплення видовжених країв на нижній лицевій площині структури. Як частковий випадок записано вираз для спектра власних частот вільних поперечних коливань пластини-смуги з нанесеним на верхню лицеву площину тонким захисним покриттям [2]. Граничним переходом за параметрами, які характеризують співвідношення товщин складових, отримано вираз для спектра власних частот податливої до трансверсального зсуву та стиснення пластини-смуги. Подальші граничні переходи за параметрами податливості до трансверсальних стиснення та зсуву дозволили отримати відомі результати для виразів спектрів власних частот за використання теорій на основі зсувної моделі С. П. Тимошенка та класичної моделі Кірхгофа – Лява [3]. Отримано також аналітичний вираз для спектра власних частот тришарової пластини-смуги симетричної будови за товщиною з аналогічними до попереднього випадку крайовими умовами. Для обох випадків пластин-смуг виявлено ефект суттєвого зниження значень власних частот при врахуванні дискретності будови за товщиною у порівнянні з результатами, отриманими з використанням зведених жорсткісних характеристик пакета.

1. Осадчук В.А., Марчук М.В. Математична модель динамічного деформування податливих до зсуву та стиску композитних пластин // Прикл. проблеми механіки і математики. – 2005. – Вип. 3. – С. 43–50. 2. Пакош В.С. Власні частоти податливої до трансверсальних зсуву та стиснення пластини-смуги з тонким покриттям // Прикл. проблеми механіки і математики. – 2009. – Вип. 7. – С. 172–175. 3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиз, 1959. – 440 с.

## ЗАСТОСУВАННЯ ПІДХОДІВ РЕІНЖІНІРІНГУ ТА РИЗИКОЛОГІЇ ДЛЯ АНАЛІЗУ ПРОЕКТІВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ НАФТОГАЗОВИХ УСТАТКУВАНЬ

### APPLICATION OF APPROACH REENGINEERING AND RISKOLGY FOR ANALYSIS OF PROJECTS IN RELATION TO EVALUATION OF REMAINING RESOURCE OF OIL AND GAS EQUIPMENTS CONSTRUCTIONS

Ігор Огірко<sup>1</sup>, Володимир Юзевич<sup>2</sup>, Назар Стащук<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Українська академія друкарства,  
вул. Підголосько, 19, м. Львів, 79000, Україна;

<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;

<sup>3</sup>Технічний коледж Національного університету «Львівська політехніка»,  
вул. Пимоненка, 17, м. Львів, 79035, Україна.

*On the basis of analysis of corrosive processes and development of recommendations in relation to the projects of reengineering optimization of functioning of oil and gas equipments at the evaluation of them remaining resource it is suggested to apply a mathematical model for research of degree of electrochemical defence of metal from corrosion in the conditions of cathode polarization of surface of the mechanically loaded metallic constructions taking into account approaches of riskology.*

На машинобудівних заводах випускають продукцію нафтогазових та нафтових устаткувань. При експлуатації нафтових свердловин і насосного устаткування завжди існує небезпека виникнення корозії, яка значно зменшує термін служби металевих елементів конструкцій. У цих випадках доцільно використати додаткові методи захисту крім традиційного антикорозійного покриття. Найбільш ефективним і економічним методом є встановлення установок катодного захисту (УКЗ) споруд. Удосконалення УКЗ супроводжується розвитком системних засад управління проектами реінжинірингу та встановленням причинно-наслідкових зв'язків між системами вихідних даних і системами-продуктами.

Нааявність сірководню в робочих середовищах зовні елементів конструкцій викликає небезпеку крихкого руйнування устаткування. Елементи конструкцій можуть одночасно піддаватись усім

найбільш характерним типам корозійного руйнування: загальній корозії; локалізований (пітинговий) корозії; корозійному (сульфідному) розтріскуванню. Переважна реалізація того або іншого типу корозійного руйнування залежить від властивостей середовища і металу, рівня номінальних і локальних напружень тощо. Корозійні середовища чинять двояку дію на метал.

З одного боку, внаслідок електрохімічного розчинення металу відбувається зменшення поперечного перерізу елемента, що сприяє підвищенню діючих напружень і подальшому його руйнуванню. З іншого боку, анодне розчинення металу може призводити до релаксації локального напруження через притуплювання вершини тріщини або якого-небудь іншого концентратора.

Для аналізу корозійних процесів і розроблення рекомендацій щодо проектів реінжинірингу в нафтогазових устаткуваннях запропоновано застосувати математичну модель [1]. На основі рівнянь моделі можна досліджувати залежності ступеня електрохімічного захисту металу від корозії в умовах катодної поляризації поверхні механічно навантажених металевих конструкцій.

Підходи ризикології та корозіометрії щодо оцінювання залишкового ресурсу конструкцій нафтогазового устаткування (виготовлених на машинобудівних заводах) рекомендовано застосувати з урахуванням комплексу експериментальних методик.

1. Юзевич В. Моделирование коррозийных процессов у системы «метал-электролит» с учетом диффузионного импеданса / В. Юзевич, И. Огірко, Р. Джала // Фізико-математичне моделювання та інформаційні технології. – 2011. – Вип. № 13. – С. 173-181.

## ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНОГО СТАНУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ БУРОВОГО ТА НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

### EVALUATION OF THE DRILLING OIL AND GAS INDUSTRY EQUIPMENT COMPONENTS SURFACES' QUALITY

Юрій Парайко<sup>1</sup>, Михайло Лях<sup>1</sup>, Юрій Лях<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна;

<sup>2</sup> БУ «Укрбургаз» ПАТ «Укргазвидобування»,  
вул. Полтавська, 86, м. Красноград, Харківська обл., 63304, Україна.

*The quality of work surfaces due to hardening treatments depends on the stability of parts against wear. Strengthened surface can have a large area and complex profile. Therefore, to access the quality status of all contacting surfaces after hardening treatment (eg thermal) can only be developed using the new technology of rapid surface energy – hardness steel products.*

Бурове та нафтогазопромислове обладнання експлуатується в складних кліматичних умовах, контактуючи з корозійноактивним середовищем та сприймаючи великі статичні і динамічні навантаження. Одними з основних причин виходу з ладу такого обладнання є тертя і спрацювання контактуючих поверхонь деталей. Спрацювання – це процес поступового руйнування поверхневих шарів деталі, що відбувається при терті чи інших видах взаємодії.

Для підвищення стійкості контактуючих поверхонь деталей проти спрацювання застосовують зміцнюючу обробку, що передбачає зміну фізико-механічних властивостей поверхонь деталей.

Від якості робочих поверхонь внаслідок зміцнюючих обробок буде залежати стійкість деталей проти спрацювання. А при наявності непомічених дефектів на робочій поверхні деталі після її зміцнення та в процесі експлуатації призводить до створення зон швидкого руйнування даної поверхні і виходу з ладу деталі та в цілому механізму. Зміцнена поверхня може мати велику площу і складний профіль, що ускладнює проведення контролю. Це, наприклад, внутрішні конічні та циліндричні поверхні великогабаритних деталей противикидного обладнання (універсальні, кільцеві та плашкові превентори); поверхні деталей бурових насосів (циліндрові втулки, штоки, зубчасті колеса та ін.).

З метою недопущення в експлуатацію неякісно виготовлених відповідальних деталей потрібно здійснювати контроль кожної з них. Існуючі способи не дають можливість проконтролювати якісний

стан усієї зміцненої поверхні. Тому оцінити якісний стан усієї контактуючої поверхні після її зміцнюючої обробки (наприклад, термічної) можна тільки за допомогою розробленої нової експрес-технології визначення поверхневої енергії – твердості сталевих виробів.

Ця експрес-технологія дає можливість провести контроль усієї робочої поверхні і виявити навіть незначні дефекти зміцненої поверхні. При встановленні дефектів деталей підлягає повторному зміцненню дефектної ділянки робочої поверхні.

Загальна тривалість оцінювання якісного стану робочої поверхні деталі експрес-технологією складає 5 – 10 хв. Ця технологія дає можливість контролювати навіть зварені деталі.

Запропонована технологія полягає у створенні на поверхні сталевих деталей спеціального тонкого шару, який має здатність змінювати свої властивості, зокрема й оптичні.

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ДЕГРАДАЦІЇ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАЛЕЙ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ У НАВОДНЮВАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

### THE REGULARITIES OF THE OPERATIONAL DEGRADATION OF GAS TRUNK PIPELINE STEELS WELDING JOINTS IN HYDROGENATING ENVIRONMENTS

Юрій Петрина, Богдан Шуляр

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The changes of mechanical properties, microstructure and fracture mechanisms of welding joints of low-alloying X52 gas trunk line steel after long-term degradation in hydrogenation environments have been investigated. Hydrogen absorbed by metal is shown to have important role in steel inservice degradation.*

Робочі середовища можуть мати суттєвий вплив на в'язкі властивості зварних з'єднань трубопроводів. Особливо небезпечними є робочі середовища, які призводять до наводнювання матеріалів конструкцій. За спільного тривалого впливу наводнювального середовища та механічних навантажень зварні з'єднання стають особливо схильними до крихкого руйнування. Цьому сприяє їхня мікро- і макронеоднорідність за структурою, хімічним складом і механічними властивостями.

Вивчали закономірності впливу наводнювання на механічні властивості зварних з'єднань сталі X52. Для матеріалу шва (МШ) показники  $\sigma_{\delta}$  і  $\sigma_{0,2}$  були вищими, ніж для основного металу (ОМ). Після електролітичного наводнювання ОМ  $\sigma_{\delta}$  і  $\sigma_{0,2}$  понизилися на 10 % і 1 % відповідно, а для МШ – по 7%.

Щодо параметрів пластичності, то тут спостерігається зворотне явище: значення  $\delta$  і  $\psi$  для МШ були нижчі за аналогічні характеристики ОМ. Найбільш чутливою характеристикою до електролітичного наводнювання зразків є відносне поперечне звуження  $\psi$ . Його спад порівняно з вихідними станами матеріалів складав для ОМ 22%, а для МШ – 25%.

Спад величини  $K_{IC}$  попередньо наводненого МШ зварного з'єднання в області повністю в'язких руйнувань був дещо більший, ніж для ОМ, і складає близько 26%. При незначному підвищенні роботи зародження тріщини (на приблизно 3%) робота її поширення різко зменшилася (на 40 %). На всьому інтервалі температур випробувань робота поширення тріщини наводненого МШ зварного з'єднання була нижчою ніж робота зародження тріщини, на відміну від вихідного МШ, де проявлялася обернена тенденція.

Цікавим є також той факт, що інтенсивність спаду в'язкості руйнування ОМ і МШ, які були електролітично наводнені, сумірні зі спадом відносного поперечного звуження  $\psi$ .

Виявлені зміни мікроструктури та механічних властивостей різних зон зварного з'єднання після електролітичного наводнювання визначають також тріщиностійкість цих зон.

Після попереднього електролітичного наводнювання в'язкість руйнування матеріалів у всіх зонах зварного з'єднання значно знизилася (від 2 до 2,26 разів). Оцінку  $K_{IC}$  вдалося провести тільки для матеріалу ЗС.

В'язкість руйнування електролітичного наводнених зразків значно нижча за в'язкість руйнування вихідних зразків. Характеристики  $K_{IC}$  з підвищенням температури випробувань

зростають. Достовірні значення  $K_{1C}$  забезпечуються до 283 і 303 К для ЗШ і ЗС відповідно. Вище вказаних температур умови плоско деформованого стану не забезпечуються. Тому в цьому випадку оцінювання в'язкості руйнування зразків здійснюється за параметром  $K_C$ .

Для аналізу опору матеріалів поширенню втомних тріщин використали кінетичні діаграми втомного руйнування. МШ зварного з'єднання мав вищі показники порогового значення ефективного розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень, ніж ОМ.

## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ НА МІЦНІСТЬ ЗВАРНИХ ОБОЛОНКОВИХ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ОСЬОВИМИ ПОВЕРХНЕВИМИ ТРІЩИНАМИ У ЗОНІ ЗВАРНОГО ШВА

ASSESSING THE IMPACT OF RESIDUAL STRESSES ON THE STRENGTH OF WELDED SHELL  
MACHINE-BUILDING STRUCTURES WITH AXIAL SURFACE CRACKS IN THE WELD ZONE

Юрій Пороховський

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*The welded joints of linear parts of the shell machine-building structures with pointed defects, which are modeled by the axial surface cracks, are considered. Their stressed state, caused by the internal pressure, temperature difference between the mounting and operation temperatures and technological residual stresses, is determined. On the basis of a two-parametric criterion of mechanics brittle-ductile fracture, using the estimation diagram of fracture, the coefficient of margin of strength of such part of the shell structure with a crack in the weld and possible dimensions of the defect are evaluated. The influence of residual stresses of the coefficient of margin of strength evaluated by the Kirchhoff–Lave shell theory and by the refined shell theory, is shown.*

Розглянуто прямолінійну ділянку оболонки товщини  $h$  під дією внутрішнього тиску і зварним з'єднанням із зовнішнім поверхневим дефектом у кільцевому монтажному шві, який, відповідно до нормативних документів, моделюється поздовжньою поверхневою півеліптичною тріщиною з півосями  $a$  і  $c$  у круговому циліндрі. Для оцінювання міцності ділянки зварного шва з дефектами типу тріщин використано діаграму руйнування [1, 2], яка є граничною кривою, що визначає межу міцності між небезпечним та безпечним станом конструкції і дозволяє одночасно аналізувати два граничні стани – крихкий та в'язкий. На основі наведених у [3] таблиць розроблено програмне забезпечення, яке, на основі триваріантної квадратичної інтерполяції, дозволяє обчислити коефіцієнти впливу для довільних геометричних параметрів труби та розмірів тріщин.

Для оцінювання впливу залишкових напружень на коефіцієнт запасу міцності (КЗМ) розрахунок цих напружень проводився на зовнішній та внутрішній поверхнях труби діаметром 219 мм з товщиною стінок  $h = 7$  мм, виготовленої зі сталі Х-70, за уточненою теорією оболонок та за класичною теорією оболонок Кірхгофа–Лява. Побудовано графіки коефіцієнтів запасу міцності від відносної глибини тріщини  $a/h$  для впливу експлуатаційних напружень, а також з урахуванням сумарної дії експлуатаційних та залишкових напружень, обчислених за уточненою теорією оболонок, які залишаються в зоні зварного шва навіть після високого відпуску та за теорією Кірхгофа – Лява.

З проведених числових розрахунків встановлено, що з ростом глибини тріщини величина коефіцієнта запасу міцності  $n$  зварного з'єднання з дефектом значно зменшується. Крім цього, з ростом глибини тріщини відхилення між КЗМ, отриманими для залишкових напружень, порашованими за двома теоріями, зростають і за теорією оболонок КЗМ нижчий. Допустиме значення КЗМ з врахуванням залишкових напружень досягається за глибини дефекту  $a/h = 0,51$  для залишкових напружень, отриманих за класичною теорією оболонок і  $a/h = 0,57$  – за уточненою теорією оболонок, що на 12% більше, ніж за теорією оболонок. Крім цього, наявність залишкових напружень у зоні зварного з'єднання істотно знижує коефіцієнт запасу міцності і в даному випадку ця величина становить 18 – 22%.

1. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. ДСТУ-НБВ.2.3-21:2008. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. – 88 с. 2. Shi Y.W. Effects of welding residual stress on fatigue crack growth behaviour in butt welds of a pipeline steel / Y.W. Shi, B.Y. Chen, J.X. Zhang // Eng. Fract. Mech. – 1990. – 36, No. 6. – P. 893–902. 3. Fitness-for-Service. American Petroleum Institute. Recommended Practice 579. First edition. – 2000. – 625 p.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОПРУЖНОГО СТАНУ ДВОСКЛАДОВОГО ЗА ОСЬОВОЮ КООРДИНАТОЮ ТЕРМОЧУТЛИВОГО ЦИЛІНДРА ЗА СКЛАДНОГО НАГРІВАННЯ

MATHEMATICAL MODELLING AND DEFINITION OF THERMOSTRESSED STATE OF THERMOSENSITIVE TWO-COMPONENT BY AXIAL COORDINATE CYLINDER UNDER THE CONDITION OF COMPLEX HEATING

Ірина Ракоча<sup>1</sup>, Василь Попович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Інститут прикладних проблем механіки і математики ім. Я. С. Підстригача НАН України,  
вул. Наукова, 3-б, м. Львів, 79060, Україна.

*Stationary temperature distribution of two-component cylinder under conditions of complex heat, which are based on the model of thermosensitive body, have been defined. The temperature stresses, which were caused by defined temperature field, have been found. The influence of the dependence of thermal and mechanical characteristics of materials of components on temperature on the quantity and the distribution of temperature and stresses, depending on the input parameters, has been investigated.*

Під час розрахунку температурних полів і викликаних ними напружень у багат шарових елементах конструкцій, які працюють в умовах високотемпературного нагрівання, важливо враховувати вимоги сучасної інженерної практики, що є можливим за використання моделі термочутливого тіла, тобто врахування залежності теплових та механічних характеристик матеріалів складових від температури [1, 3], а також реальних умов їх нагрівання та взаємодії з навколишнім середовищем.

**Формулювання задачі.** Розглядається термочутливий циліндр, який складається з двох різної довжини циліндрів, виготовлених з різних матеріалів. На одній з обмежуючих плоских поверхонь підтримується температура  $t_{\text{вн}}$ , а через іншу відбувається конвективно-променевий теплообмін з навколишнім середовищем сталої температури  $t_c$ . Між пластинами розташоване джерело тепла  $q$ . Циліндричну поверхню вважаємо теплоізолюваною. Залежності коефіцієнтів теплопровідності контактуючих циліндрів задані в діапазоні температур  $[t_p, t_k]$ . Потрібно визначити розподіл температури в такому кусково-однорідному циліндрі та спричинений ним термопружний стан.

Математична модель для визначення розподілу температури в безрозмірному вигляді запишеться так:

$$\frac{d}{dx} \left( l_t^{(i)*}(T_i) \frac{dT_i}{dx} \right) = 0, \quad x_i < x < x_{i+1}, \quad i = 1, 2, \quad (1)$$

$$T_1|_{z=z_1} = T_{\text{вн}}, \quad \left[ l_t^{(2)*}(T_2) \frac{dT_2}{dz} + Bi(T_2 - T_c) + Sk(T_2^4 - T_c^4) \right]_{z=z_3} = 0, \quad (2)$$

$$T_1|_{x=x_2} = T_2|_{x=x_2}, \quad l_*^{(1)}(T_1) \frac{dT_1}{dx} \Big|_{x=x_2} = K_l^{(2)} l_t^{(2)*}(T_2) \frac{dT_2}{dx} \Big|_{x=x_2} + Ki_0, \quad (3)$$

де  $x = \bar{x}/l_0$  – безрозмірна осьова координата, а  $l_0$  – вибраний нами характерний розмір,  $\{T_i, T_c, T_{\text{вн}}, T_p\} = \{t_i, t_c, t_{\text{вн}}, t_p\}/t_k$  – безрозмірні температури, а  $t_k$  – вибране за відлікове, максимальне значення температури з діапазону задання температурної залежності коефіцієнтів теплопровідності

шарів,  $Ki_0 = ql_0 / (t_k l_{t0}^{(1)})$ ,  $Bi = a l_0 / l_{t0}^{(2)}$ ,  $Sk = es t_k^3 l_0 / l_{t0}^{(2)}$ ,  $K_l^{(2)} = l_{t0}^{(2)} / l_{t0}^{(1)}$  – стала Стефана-Больцмана, коефіцієнт теплообміну на поверхні  $\lambda = \lambda_3$  та її ступінь чорноти. При обезрозміренні задачі температурні залежності коефіцієнтів теплопровідності шарів від температури подані у вигляді  $l_t^{(i)}(t_i) = l_{t0}^{(i)} l_*^{(i)}(T_i) = l_{t0}^{(i)} (1 + k_i (T_i - T_p))$ , де  $k_i$  – задані сталі, а  $l_{t0}^{(i)} = l_t^{(i)}(t_p)$  – опорні значення коефіцієнтів теплопровідності.

Побудова розв'язку задачі теплопровідності. Нелінійну задачу (1) – (3) частково лінеаризуємо за допомогою введення змінних Кірхгофа  $q_i = \int_{T_p}^{T_i} l_*^{(i)}(T_i) dT_i$ , в результаті чого отримуємо задачу

$$\frac{d^2 \theta_i}{dz^2} = 0, \quad z_i < z < z_{i+1}, \quad i = 1, 2, \quad (4)$$

$$T_1(q_1) \Big|_{z=z_1} = T_{\theta H}, \quad \left[ \frac{dq_2}{dz} + Bi(T_2(q_2) - T_c) + Sk(T_2^4(q_2) - T_2^4) \right]_{z=z_3} = 0, \quad (5)$$

$$T_1(q_1) \Big|_{z=z_2} = T_2(q_2) \Big|_{z=z_2}, \quad \frac{dq_1}{dz} \Big|_{z=z_2} = K_l^{(2)} \frac{dq_2}{dz} \Big|_{z=z_2} + Ki_0. \quad (6)$$

Задача (4) – (6) є нелінійною через вирази температур  $T_i(q_i)$  на поверхнях  $z = z_i$  ( $i = 1, 3$ ), які за означеного вище  $l_*^{(i)}(T_i)$  мають вигляд  $T_i(\theta_i) = (\sqrt{1 + 2k_i \theta_i} - 1) / k_i + T_p$ .

При побудові розв'язку задачі (4) – (6) замість першої умови (6) використали рівносильну їй умову [3]  $(q_2 - q_1) \Big|_{z=z_2} = (k_2 - k_1)(T_1(q_1) - T_p)^2 / 2 \Big|_{z=z_2}$  та алгоритм знаходження сталих інтегрування [3].

Аналітично знайдено вираз змінних Кірхгофа  $q_i$ , а через них шукані розподіли температури.

*Визначення температурних напружень.* Спричинені знайденим нерівномірним розподілом температури напруження в припущенні залежності від температури модуля Юнга, коефіцієнта Пуассона та температурного коефіцієнта лінійного розширення знайдено за формулами [1].

*Висновки.* Сформульовано нелінійну математичну модель для визначення температурного поля у двоскладовому термочутливому циліндрі за складного теплообміну. Побудовано розв'язок нелінійної моделі та визначено температурні напруження, спричинені знайденим нерівномірним розподілом температури. Досліджено вплив термочутливості матеріалів складових на характер і рівень розподілу температури та напружень.

1. Кушнір Р.М. Моделювання та оптимізація в термомеханіці електропровідних термочутливим тіл; за заг. ред. Л.Й. Бурака, Р.М. Кушніра. Т.3. Термопружність термочутливим тіл/ Р.М. Кушнір, В.С. Попович. — Львів: Сполом, 2009. — 412 с. 2. Noda N. Thermal Stresses in Materials with Temperature-Dependent Properties: Thermal Stresses I / R.B. Hetnarski (ed.). — 1986. — Р. 391-483. 3. Кушнір Р.М., Попович В.С. про визначення усталеного термопружного стану багатопшарових структур за високотемпературного нагрівання // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки. 3 / 2013. — с. 42-47.

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ВТИСКАННІ ТОРОЇДАЛЬНОГО РОЛИКА

THE STRESS-STRAIN STATE IN THE DEFORMATION ZONE WHEN TOROIDAL ROLLER IS PRESSED IN

Ольга Сердюк, Іван Сивак, Віктор Савуляк

Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна.



*Analysis of the stress-strain state in the deformation zone when toroidal roller is pressed into the cylindrical surface is performed. Influence of the residual hollow geometric characteristics on the character of stress distribution in the metal surface layer is determined.*

При розгляді процесу поверхневої пластичної деформації, зокрема, при деформуванні роликом циліндричної поверхні виникає низка задач. Однією з них є визначення характеристик зони контакту інструмента й деталі та визначення напружено-деформованого стану в осередку деформації і, в подальшому, використаного ресурсу пластичності в поверхневому шарі. Розв'язанням цієї задачі займалися Блюменштейн В.Ю., Дрозд М.С., Отеній Я.Н., Сідякин Ю.І., Смелянский В.М..

При втисканні тороїдального ролика в поверхню деталі в області контакту виникає залишкова вм'ятина, навколо якої завжди знаходиться пластично деформована область, яка поширюється на деяку глибину  $h_s$ . Ця область обмежена замкнутою поверхнею, на межі якої інтенсивність напружень  $s_u$  дорівнює границі текучості матеріалу заготовки. На рис. 1 наведено розподіл напружень по глибині та по осях  $x$  та  $y$ , отриманий після розв'язку задачі методом скінченних елементів.

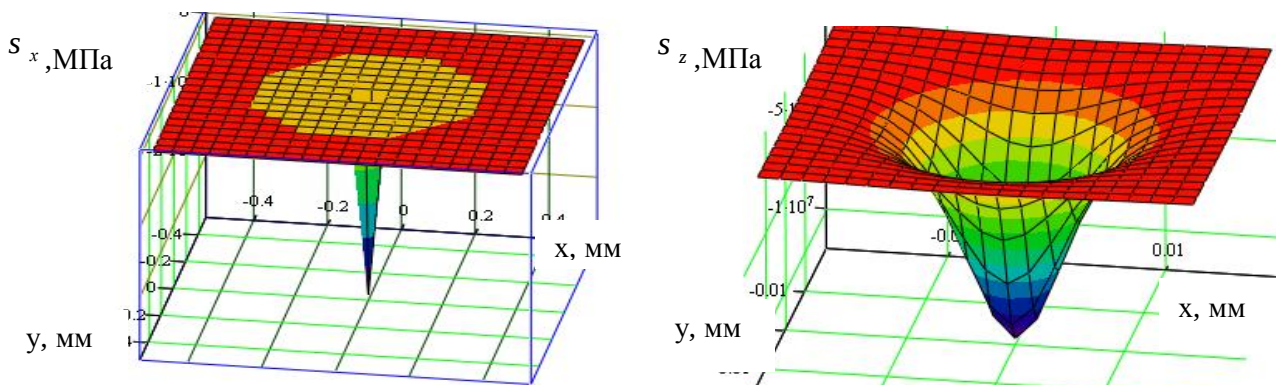


Рис. 1. Розподіл напружень  $\sigma_x$  та  $\sigma_z$  в осередку деформації

Такий розподіл отримано для вдавлювання ролика з профільним радіусом 5 мм в вал діаметром 50 мм. За таких умов полуосі еліпса відбитку складають близько 1 мм. Із отриманих результатів видно, що при вдавлюванні напруження  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$  стискуючі, а напруження  $\sigma_z$  стискує під роликом, але розтягує перед та після нього на поверхні деталі. Що підтверджує складний напружений стан при втисканні та обкочуванні деталі.

Аналізуючи викладене вище, можна зробити такі висновки: найбільш небезпечною є вершина хвилі, в якій може відбуватися руйнування поверхневого шару. Цей дефект небезпечний тим, що не завжди може бути візуально помічений, оскільки ролик при обкочуванні закатує частково дефекти, які можуть проявитися при експлуатації деталі; нерівномірність розподілу напружено-деформованого стану в поверхневому шарі зростає зі збільшенням глибини втискання.

## ОЦІНЮВАННЯ ПЛАСТИЧНОСТІ МЕТАЛІВ ПРИ НЕМОНОТОННОМУ НАВАНТАЖЕННІ

### ASSESSMENT OF THE PLASTICITY OF METALS WITH NON-MONOTONIC LOADING

Роман Сивак

Вінницький національний аграрний університет,  
вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна.

*A method is proposed for evaluating metal plasticity under non-monotonic load, which uses the value of divergence between the director tensor of deformation rates and the director tensor of deformations in order to estimate the influence of nonmonotony on the plasticity.*

Критерії реформованості, засновані на скалярному описанні процесів накопичення пошкоджень, не дозволяють отримати достовірну оцінку пластичності металів при немонотонному навантаженні. У доповіді, для оцінки пластичності металів при немонотонному навантаженні, запропоновано використовувати тензор пошкоджень, компоненти якого визначаються так:

$$\psi_{ij} = \int_0^{e_u} F(e_u^*, \eta, \mu_\sigma) \gamma_{ij} de_u^*, \quad (1)$$

де  $\eta = \frac{3\sigma}{\sigma_u}$  – показник жорсткості напруженого стану,  $\sigma = \frac{1}{3} \sigma_{ij} \delta_{ij}$  – середнє напруження,  $\sigma_u$  – інтенсивність напружень,  $\mu_\sigma$  – параметр Надаї-Лоде,  $e_u = \int_0^t \dot{\epsilon}_{ij} d\tau$  – ступінь деформації,  $t$  – час деформування.

Компоненти тензора  $\gamma_{ij}$  дорівнюють різниці  $\gamma_{ij} = \beta_{ij} - \alpha_{ij}$  між компонентами напрямного тензора деформацій  $\beta_{ij}$  і компонентами напрямного тензора швидкостей деформацій  $\alpha_{ij}$ .

Компоненти напрямного тензора  $\beta_{ij}$  визначаються за формулою

$$\beta_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\epsilon_{ij}}{de_u}, \quad (2)$$

де  $e_{ij}$  – компоненти тензора деформацій, а компоненти напрямного тензора

$$\alpha_{ij} = \sqrt{\frac{2}{3}} \frac{d\dot{\epsilon}_{ij}}{de_u},$$

де  $\dot{\epsilon}_{ij}$  – компоненти тензора швидкостей деформацій.

Позитивна функція  $F(e_u, \eta, \mu_\sigma)$  є характеристикою матеріалу. В роботах Г. Д. Деля показано, що тензор з компонентами  $\int_0^{e_u} F(e_u, \eta, \mu_\sigma) \gamma_{ij} de_u$  є девіатором.

Нами зроблено припущення, що при немонотонному навантаженні руйнування відбувається тоді, коли деяка функція інваріантів тензора  $y_{ij}$  досягає певного значення. Перший інваріант цього тензора дорівнює нулю. Нехтуючи впливом третього інваріанта, умову руйнування запишемо у такому вигляді:

$$y_{ij} y_{ij} = 1.$$

При монотонному навантаженні  $g_{ij} = 0$  тому для оцінки пластичності металів необхідно використовувати критерії, в яких прийнята скалярна модель процесів накопичення пошкоджень.

## ІНІЦІУВАННЯ ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ ПОВЕРХНІ АКТИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ МЕХАНІЧНОМУ РУЙНУВАННІ

### INITIATION OF CHEMICAL REACTIONS AT THE SURFACE OF THE ACTIVE MEDIUM MECHANICAL DESTRUCTION

Ігор Сімінченко, Віктор Сошко

Херсонський національний технічний університет,  
вул. І. Куліка, 130, м. Херсон, 73008, Україна.

*Experimental data on the possibility of chemical activation of lubricating and cooling technology tools as it enters the cutting zone. The method of temperature-programmed heating. Confirmed by conversion to*

*the cutting zone of surface-active medium in a radically active and its parts in the process of restructuring and breaking of the interatomic bonding forces deformable metal*

Значні досягнення в різних, але суміжних, областях науки спричинили швидке заглиблення розуміння процесу руйнування металу при впливі на нього мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ). Це дозволило авторам цього повідомлення запропонувати гіпотезу про можливість багатостадійної хімічної активації МОТЗ, при її надходженні в зону різання, утворення на останньому етапі перетворення вихідного середовища вуглецю і водню в атомарну та іншу активну форму (радикали, іони, іон-радикали), перманентну карбонізацію різальної кромки інструмента, наводнювання зрізаного шару і стружки та активній участі водню в механічному процесі руйнування матеріалу.

Не дивлячись на те, що вже на першому етапі роботи на користь цієї гіпотези були отримані різнобічні і вельми обнадійливі експериментальні дані, вона безумовно потребує подальшого опрацювання та апробації. У цьому повідомленні представлені результати досліджень проникнення водню в залізо і низьковуглецеву сталь при деяких видах їх пластичної деформації у водневмістних середовищах: воді, вуглеводнях і ін.

Для виявлення водню був застосований метод температурно-програмованого нагріву (ТНС) зразка, поміщеного у вакуумний об'єм, з одночасною мас-спектрометричною реєстрацією водню. Спектр ТПН являє собою криву з декількох піків колоколоподібної форми з максимумами, відповідними температурі виходу водню.

У табл. 1 наведені результати визначення положення максимумів ( $T_{max}$ ) на кривих ТПН, а також час витримки ( $t$ ) зразків від початку точіння (сталь 20) до моменту вимірювання спектра. З метою виключення можливого прояву у спектрі ТПН «постійного» (металургійного) водню, були проведені досліди з точінням в  $D_2O$ . Їхні результати абсолютно ідентичні таким для  $H_2O$ .

Для оцінення глибини проникнення водню в заготовку після першого проходу свердла в середовищі  $D_2O$  знімалася стружка на повітрі глибиною 0,5 мм. В цьому випадку в ТПН спектрі виявлявся пік інтенсивністю 10% від початкового, що якісно вказує на глибину проникнення дейтерію порядку 0,5 мм.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили одне з основних положень гіпотези про перетворення в зоні різання поверхнево-активного середовища в радикально активну і її ділянки в процесах перебудови і розриву міжатомних сил зв'язків деформованого металу.

Таблиця 1

| Результати досліджень        |           |               |
|------------------------------|-----------|---------------|
| Середовище                   | $t$ (час) | $T_{max}$ (К) |
| Повітря                      | 0,5       | 500           |
| Сухий азот                   | 0,5       | -             |
| $H_2O$                       | 0,5       | 435           |
| $H_2O$                       | ->        | 450           |
| $H_2O$                       | 23        | 510           |
| $H_2O$                       | 300       | -             |
| $H_2O$                       | 1,0       | 510           |
| $D_2O$                       | 0,5       | 430           |
| $D_2O$ (крупна фракція)      | 7         | 500           |
| $D_2O$ (крупна фракція)      | 7         | 505           |
| $D_2O$ (крупна фракція)      | 48        | 520           |
| $D_2O$ (крупна фракція)      | 48        | 530           |
| Електроліз                   | 0,5       | 500           |
| Електроліз                   | 24        | 500           |
| Етанол                       | 0,5       | 505           |
| Етанол + вода                | 0,5       | 450           |
| П-гептан                     | 0,5       | 460,53        |
| Вазелінове масло (ВМ)        | 0,5       | 460,53        |
| Олеїнова кислота             | 0,5       | 510           |
| Вазелінове масло (ВМ) + вода | 0,5       | 470,53        |

## ДИСИПАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ПРИ ЦИКЛІЧНОМУ ЗСУВНОМУ НАВАНТАЖЕННІ БІМАТЕРІАЛУ З МІЖФАЗНИМИ ДЕФЕКТАМИ КОНТАКТУ З УРАХУВАННЯМ ТЕРТЯ

### ENERGY DISSIPATION OF BIMATERIAL WITH INTERFACIAL DEFECTS IN THE ACCOUNT OF FRICTION UNDER CYCLIC SHEAR

Георгій Сулим<sup>1</sup>, Любов Піскозуб<sup>2</sup>, Йосиф Піскозуб<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет ім. Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна;

<sup>2</sup>Українська академія друкарства,  
вул. Підголосько, 19, м. Львів, 79020, Україна.

*We construct the exact solution of the anti-plane problem for an inhomogeneous bimaterial including the closed interface cracks with sliding friction possibility. The solid is exposed to the normal load and arbitrary load in the longitudinal direction. We analyze the effect of friction and loading parameters on the size of these zones. Several cases of external loading are taken into account when stress intensity factors, jumps of stresses and displacements, dissipation of energy are calculated.*

Вивчення контактних явищ з урахуванням тертя є однією з найактуальніших проблем у машинобудуванні. При терті одночасно відбуваються механічні, електричні, теплові, вібраційні та хімічні процеси, які суттєво впливають на міру деградації матеріалів, тривалість перебігу всередині них хвильових процесів, надійність та довговічність виготовлених з них елементів конструкцій тощо. Вплив тертя може бути як шкідливим, так і корисним. З погляду механіки цілісності конструкцій тертя берегів тріщин під час їхнього контактування зі зсувом берегів є доволі корисним, бо спричиняє дисипацію накопиченої у тілі енергії деформування, а відтак і зменшення рівня напружень.

Побудовано точний розв'язок антиплоскої задачі для неоднорідного біматеріалу з міжфазною тріщиною, навантаженого нормальним стиском та циклічним навантаженням зосередженими силами в поздовжньому напрямку. Граничні умови для врахування контакту з тертям у налягаючій тріщині передбачають, що при досягненні дотичними напруженнями певного критичного значення починається проковзування, причому цей поріг дотичні напруження не можуть перевищити. Поза ділянкою контакту величина дотичних напружень у місці відсутності проковзування не перевищує рівня максимально допустимих. Обмежуючись при цьому класичним законом тертя Амонтона, методом функцій стрибка задача зведена до сингулярного інтегрального рівняння для стрибків зміщень і напружень у зонах проковзування з тертям. Аналізується вплив параметрів навантажування і тертя на розміри цих зон.

Запропонована методика розрахунку НДС при циклічному чи багатокроковому навантаженні в тілах з дефектами контакту, де може відбуватися проковзування з тертям. У цій постановці задачі з однією зоною проковзування визначено критичні значення навантаження, поточні розміри зони проковзування, дисипацію енергії на кроці циклу.

Пропонується розвиток такого підходу на випадки штучно обмеженого можливого (допустимого апріорі) розміру зони проковзування та сукупності кількох зон проковзування.

Проведено числовий аналіз впливу різних навантажувальних чинників при можливих схемах циклічного навантажування, розраховано розсіяння енергії в квазістаціонарному випадку. Відзначається гістерезисна поведінка стрибків зміщень і напружень в областях проковзування.

## ТЕРМОМЕХАНІЧНИЙ КРИТЕРІЙ УТВОРЕННЯ ЧАСТИНКИ ЗНОШУВАННЯ ДЛЯ ПРОСТОРОВОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

### THERMO-MECHANICAL CRITERION OF GENERATION OF WEAR PARTICLES FOR VOLUMETRIC STRESS

Георгій Сулим<sup>1</sup>, Сергій Пир'єв<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна;

<sup>2</sup>Українська академія друкарства,  
вул. Підвальна, 17, м. Львів, 79020, Україна.

*The two-point thermo-mechanical criterion for the formation of wear particles for three-dimensional stress state offered. Using this criterion the resulting correlation between the microstructure of the alloy, wear particle size and surface roughness of the counter body. Map thermomechanical wear steel ShH15 built.*

На базі механіки фрикційної взаємодії будуються моделі тертя і зношування поверхонь; аналізується напружений стан і характер руйнування приповерхневих шарів; оцінюється

довговічність роботи рухомих з'єднань і визначаються критичні умови, що призводять до порушення їх нормального функціонування; запропоновано способи керування процесами тертя і зношування.

Мета роботи – розробити двоточкові критеріальні співвідношення, які б могли враховувати структуру матеріалу – розмір зерен матеріалу приповерхневого шару.

Раніше було побудовано одноточковий критерій термомеханічного зношування у випадку просторового квазістаціонарного температурного і термонапруженого стану складових пари тертя [1], який початок утворення частинки зношування пов'язував з виникненням граничного стану безпосередньо на поверхні контакту пари тертя.

У цій праці відомі критеріальні співвідношення термомеханічного зношування адаптовано на випадок просторового квазістаціонарного температурного і напруженого стану фрикційного елемента у двох характерних точках (точці фрикційної поверхні і на певній глибині під нею), що гарантує виникнення критичного стану у певній приповерхневій області, яку можна ототожнювати з приповерхневим структурним елементом, який, внаслідок дії зсуву, можна в цілісності вирвати з місця його розташування. Це створює можливість врахування приповерхневої структури матеріалу, зокрема його зернистості, у процесах його фрикційного руйнування.

У ролі вхідних даних використано розподіли температури і напруження у півпросторі, які викликані дією температурного потоку і нормального тиску в області, що рухається зі сталою швидкістю по поверхні [1].

1. Пырьев С.Ю. Термомеханическое изнашивание при квазистационарном фрикционном тепло образовании / С.Ю.Пырьев, О.О. Евтушенко, Г.Т. Сулим – Трение и износ. – 2012. – 33, № 5. – С. 435-443.

## ТЕРМОПРУЖНІСТЬ ПОШКОДЖЕНОГО ТРІЩИНАМИ АНІЗОТРОПНОГО БІМАТЕРІАЛУ З НЕІДЕАЛЬНИМ ТЕПЛОВИМ КОНТАКТОМ СКЛАДОВИХ

### THERMOELASTICITY OF AN ANISOTROPIC CRACKED BIMATERIAL WITH IMPERFECT THERMAL CONTACT OF ITS COMPONENTS

Георгій Сулим<sup>1</sup>, Ярослав Пастернак<sup>2</sup>, Михайло Томашівський<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна;

<sup>2</sup>Луцький національний технічний університет,  
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, Україна.

*This study combines the extended Stroh formalism and complex variable analysis for obtaining truly boundary integral equations and integral formulae for anisotropic thermoelastic bimaterial with imperfect thermal contact of components, which contain cracks, holes and other defects. Obtained equations are introduced into the efficient boundary element code, which allows accurate study of defective anisotropic thermoelastic bimaterials.*

Сьогодні анізотропні композиційні матеріали стали практично незамінними в інженерії, авіа- та машинобудуванні, космічній та військовій техніці. Таке їхнє поширення найперше пов'язане з можливістю попереднього проектування бажаних їхніх властивостей, забезпечення максимально можливої жорсткості та міцності у конкретних просторових напрямках з одночасним зменшенням ваги готового виробу. При цьому часто комбінують декілька різних композитних матеріалів, поєднуючи їх адгезійним (клеєвим) шаром. Така процедура дає можливість додатково розширити чи оптимізувати бажані властивості конструкційного елемента, проте може й вносити певні небезпеки, особливо за дії на такий виріб одночасно теплового і механічного навантажень. Часто це пов'язане з тим, що клейове з'єднання, забезпечуючи достатню механічну жорсткість та міцність шва, може чинити істотний опір теплопровідності між складовими такого композиту. Тому при вивченні зародження, розвитку та поширення руйнувань у композитному біматеріалі обов'язково слід враховувати також і зведені коефіцієнти теплопровідності клеєвого шару.

З огляду на сказане вище, у цій роботі, за допомогою засобів розширеного формалізму Стро, методів теорій функції комплексної змінної та лінійних диференціальних рівнянь, побудовано

інтегральні подання типу розширених формул Сомільяни та інтегральні рівняння для термопружного анізотропного біматеріалу з неідеальним тепловим контактом складових. Ці формули записані лише вздовж контурів дефектів і не містять невласливих інтегралів уздовж межі поділу матеріалів з неідеальним тепловим контактом. Ядра відповідних інтегральних подань отримано у замкнутій формі з використанням логарифмічних, степеневих та інтегральних показникових функцій. Для обчислення останніх розроблено рекурентний алгоритм на основі їхнього подання у формі ланцюгових дробів.

Усе це дало можливість побудувати на основі модифікованого методу граничних елементів ефективну числову процедуру для вивчення задач термопружності анізотропних біматеріалів з дефектами типу отворів, тріщин, а також і тонких включень всередині та на межі поєднання анізотропних складових. Для прикладу досліджено зміну коефіцієнтів інтенсивності напружень для тріщин в кусково-однорідних композитах залежно від їхнього розташування, виду і способів зовнішнього навантаження, властивостей компонентів біматеріалу та зведеного коефіцієнта теплопровідності адгезійного прошарку.

## ДЕФОРМАЦІЙНИЙ КРИТЕРІЙ РУЙНУВАННЯ ТІЛ З ТРІЩИНАМИ ЗА ПРОПОРЦІЙНОГО ДОВОІСНОГО РОЗТЯГУ

### STRAIN FRACTURE CRITERION BODIES WITH CRACKS UNDER PROPORTIONAL BIAXIAL TENSION

Наталія Штаюра

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Університетська, 1, м. Львів, 79000, Україна.

*In this work strain criterion for fatigue crack growth in nondimensional plate under biaxial loading are proposed and formula for critical tension forces calculation  $p_*$  and  $q_*$  in most dangerous case under Guber-Mises's plastic conditions is obtained. Graphical dependents for nondimensional value of critical external force versus weighting parameter along crack line placing is built and is established that the across force  $q$  decreases external forces  $p_*$  critical values.*

Елементи багатьох конструкцій працюють за умов складного навантаження, при зміні якого відбувається перерозподіл напружень та деформацій матеріалу перед вершиною концентратора чи тріщини. Важливим для оцінювання залишкової міцності тонкостінних елементів конструкцій з тріщинами за двовісного навантаження є розроблення критеріїв міцності тіл з тріщинами та встановлення умов локального руйнування.

Метою роботи є розроблення деформаційного критерію руйнування тіла з тріщиною за пропорційного двовісного розтягу та встановлення граничних зусиль руйнування.

Розглядається нескінченна пластина з прямолінійною тріщиною довжини  $2l_0$ , яка розтягується в двох взаємно перпендикулярних напрямках рівномірно розподіленими зусиллями інтенсивності  $p$  і  $q$ . Задача полягає у встановленні значень зовнішніх зусиль  $p = p_*$ ,  $q = q_*$ , після досягнення яких наступить гранично-рівноважний стан пластини з тріщиною і пройде її поширення.

Для розв'язання задачі з врахуванням впливу двовісного напруженого стану на зону передруйнування біля вершини тріщини застосовуємо деформаційний критерій у загальному вигляді

$$\delta_t(p_*, \eta, \alpha_*, \theta, l_0) = \delta_C, \left[ \frac{\partial \delta_t(p_*, \eta, \alpha, \theta, l)}{\partial \alpha} \right]_{\alpha=\alpha_*} = 0.$$

Тут  $d_t(p, h, a, q, l_0)$  – розкриття у вершині тріщини, яке залежить від кутів початкового її поширення  $\alpha = \alpha_*$ , орієнтації  $q$  і враховує нормальне і дотичне розкриття вершини тріщини;  $\eta = qr^{-1} \leq 1$  – жорсткість двовісного навантаження.

Для найнебезпечнішої орієнтації тріщини  $q = q_*$  відносно напрямку розтягуючих зусиль  $p$  система рівнянь набуде вигляду  $\delta_t(p_*, \eta, 0, \pi/2, l_0) = \delta_C$ . Для пластини з ідеально пружно-пластичного матеріалу, застосувавши задачу Гріфітса та умови пластичності Губера-Мізеса для

визначення КІН і усереднених напружень в зоні переддруйнування, отримаємо наступні формули для визначення критичних значень зовнішніх зусиль  $p = p_*, q = q_*$ :

$$p^* = \left( \frac{\delta_C E \sigma_T}{\pi l_0} \right)^{1/2} \left( -0,5\zeta + \sqrt{1 + 0,75\zeta^2} \right)^{1/2}, \quad q_* = p_* \eta. \quad \text{За цією формулою побудовано графічну}$$

залежність безрозмірної критичної величини зовнішнього зусилля  $p_{0*} = p_*(\pi l_0)^{1/2} (\delta_C E \sigma_T)^{-1/2}$  від параметру  $\zeta$  навантаження пластини вздовж лінії розміщення тріщини. Як випливає з аналізу результатів розрахунків наявність розтягуючих зусиль  $q$  вздовж лінії розміщення тріщини за двовісного навантаження за вказаних значень параметрів  $\theta_* = \pi/2$ ,  $\alpha_* = 0$  зменшує критичне значення зовнішніх зусиль  $p = p_*$ . Проведено зіставлення отриманих результатів з експериментальними даними. Отримано добру кореляцію з аналітичною залежністю для жорсткостей двовісного навантаження  $\eta = 0,2; 0,5; 0,6; 0,92$ .

## ВПЛИВ ДОМІШОК ГЛИНИ НА МІЦНІСТЬ ЦЕМЕНТНО-ПІЩАНОГО РОЗЧИНУ

### INFLUENCE OF CLAY PARTICLES ON CONCRETE STRENGTH

Роман Юхим, Андрій Лісничук

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, Львів, 79060, Україна.

*This study investigates the influence of additives clay on the strength characteristics of mortar. The degree of negative impact of clay impurities in mortar on strength of the material and its tolerable volume content was determined.*

Склад бетону, в залежності від його призначення, проектують заздалегідь. Інженери та будівельники намагаються розробити «рецептуру» бетону такою, що володіє наперед заданими властивостями. Для цього потрібно правильно підібрати пропорції (кількість) вихідних матеріалів, що входять до складу бетону. Однак міцність бетону залежить не тільки від того, в яких кількостях взяті його складові частини, велике значення має якість вихідних матеріалів: щебню, піску, цементу і води. Відомо, що у гірському гравію містяться шкідливі домішки глини, пилу, піску, органічних речовин, сірчистих і сірчаноокислих сполук. Усі піски містять шкідливі для бетону домішки: пил, глину, гіпс, слюду, сірчаний колчедан і різні органічні домішки, які впливають на цементний камінь, знижуючи його міцність.

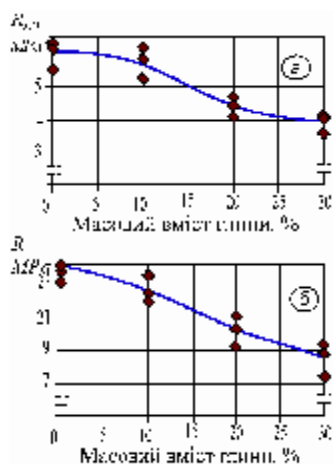


Рис. 1. Вплив глини на згинну міцність (а) та стиск (б) цементного розчину

Метою роботи є встановлення допустимого вмісту глини, що не знижує міцнісні властивості матеріалу. Зокрема, досліджено вплив вмісту глини на стиск та згинну міцність цементного розчину. Для досліджень взяті такі складники: портландцемент ПЦ П/Б-К(Ш-3)-400 виробництва ПАТ «Миколаїцемент»; дрібнозернистий промитий пісок; вода; гіперпластифікатор на основі полікарбоксилату Verament ТВ-1. Для приготування розчину воду з пластифікатором в кількості 0,04% від маси в'язучого додавали до сухо вимішаної суміші складом 1:3 цемент та пісок, та 0, 10, 20, 30 % глини від маси цементу. Водо-цементне співвідношення становило 0,38 для усіх серій зразків. Розчин перемішували до отримання однорідної суспензії протягом 5 хв., після чого ще три 3 хв. ущільнювали на вібраційному столі з метою видалення повітряних пор. З розчинів формували призматичні зразки розміром 40×40×160 мм. Усі серії зразків протягом 27 днів знаходились у лабораторних умовах. Випробування проводили за схемою трьохточкового згину відповідно до ГОСТ 10180-90 та

кубикових зразків на стиск. Результати експериментальних досліджень міцності наведено у вигляді графічних залежностей на рис. 1.

Аналізуючи дані рис. 1,а, бачимо, що вміст глини до 10 %, практично, не зменшує згинну міцність матеріалу. Проте з подальшим збільшенням вмісту глини у розчині згинна міцність знижується суттєво і для серії розчинів, що містять 30% глини від маси цементу, становить 66% від базового розчину. Характер зміни міцності розчину на стиск ілюструє рис. 1,б. Таким чином, можна стверджувати, що присутність у розчині глини до 10 % від маси цементу практично не впливає на згинну міцність матеріалу. Цей висновок дозволяє зменшити витрати цементу на 10% в розчині, зберігши міцність матеріалу на тому ж рівні.



## СЕКЦІЯ 4

## МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ

## ВПЛИВ АЗОТУВАННЯ НА КОРОЗІЙНУ ТРИВКІСТЬ ТИТАНУ VT1-0, ОТРИМАНОГО МЕТОДОМ ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ

## EFFECT OF NITRIDING ON CORROSION RESISTANCE OF TITANIUM VT1-0 FABRICATED BY POWDER METALLURGY

Богдан Бахматюк<sup>1</sup>, Христина Швачко<sup>1</sup>, Роман Проскурняк<sup>2</sup><sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

*In this paper, the corrosion resistance of titanium VT1-0, fabricated by powder metallurgy, without surface treatment and after nitriding was estimated in 20 % solution of HCl by electrochemical impedance spectroscopy.*

Порошкова металургія титану стає актуальною з огляду на можливість істотно знизити вартість виробів порівняно з литими. Проте, з огляду на розвинену структуру поверхневих пор, знижується корозійна тривкість таких виробів.

Корозійну поведінку вивчали методом імпедансної спектроскопії. Дослідження проводили у 20 % розчині HCl, використовуючи імпедансний спектрометр фірми Autolab і триелектродну комірку.

Вихідною сировиною сплаву VT1-0, отриманого методом порошкової металургії, був порошок титану ПТ5-1 ТУ У 14-10-026-98 з розміром частинок  $-0,50/+0,16$  мм. Суміш пресували за кімнатної температури. Тиск пресування 700 МПа. Розмір заготовок після пресування  $10 \times 10 \times 55$  мм. Спікали у лабораторній печі марки СНВЕ-1.31/16I3 у вакуумі 13,3 Па, нагріваючи до температури  $1250 \pm 20$  °С, витримка 3 год., охолоджували з піччю. Із заготовок виготовляли зразки розміром  $10 \times 10 \times 2$  мм.

Для підвищення корозійної тривкості титану, отриманого методом порошкової металургії, застосовували термодифузійне насичення азотом (азотування). Азотували за температури 850 °С впродовж 5 год. в азоті атмосферного тиску ( $10^5$  Па). До напуску азоту в реакційний простір печі зразки нагрівали до температури 850 °С у вакуумі  $10^{-3}$  Па і витримували 1 год. для дисоціації поверхневих оксидних плівок і унеможливлення утворення нових у процесі нагрівання.

Імпедансні випробування проводили за потенціалу відкритого кола. Вимірювання здійснювали, використовуючи триелектродну комірку. Спектри були отримані в діапазоні частот від  $10^5$  до  $10^{-2}$  Гц з амплітудою змінного струму 10 мВ. Результати імпедансної спектроскопії аналізували за допомогою комплексної нелінійної програми згладжування ZVIEW, використавши таку еквівалентну схему (рис. 1).



Рис. 1. Еквівалентна схема імпедансу

Еквівалентна схема для пасивної плівки, утвореної на поверхні зразків у 20 % водному розчині HCl, містить R3 – опір розчину, сума опорів R1, R2, R4 – опір пасивної плівки і CPE1 – постійний фазовий елемент для пасивної плівки, C1 та C2 – ємність пасивної плівки.

Результати засвідчили ефективність застосування азотування для підвищення опору корозивному руйнуванню. Так, для титану VT1-0, отриманого методом порошкової металургії, опір утвореної пасивної плівки після азотування зростає практично у 20 разів (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри еквівалентного кола

| Матеріал          | R3,<br>Ом·см <sup>-2</sup> | R1,<br>Ом·см <sup>-2</sup> | R2,<br>Ом·см <sup>-2</sup> | R4,<br>Ом·см <sup>-2</sup> | ΣR,<br>Ом·см <sup>-2</sup> | C1,<br>Ф·см <sup>-2</sup> | C2,<br>Ф·см <sup>-2</sup> |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| У вихідному стані | 0,0303                     | 2305                       | 1,215                      | 2155                       | 4,461                      | 0,01132                   | 0,000019                  |
| Після азотування  | 0,5060                     | 9747                       | 159,7                      | 71527                      | 81,434                     | 0,000026                  | 0,0007                    |

Отримані результати корелюють з результатами потенціодинамічних досліджень, у яких фіксували зниження струму корозії після азотування у 50 разів (0,6 А·м<sup>-2</sup> проти 0,012 А·м<sup>-2</sup>).

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ НАПЛАВЛЕНИХ ШАРІВ

### METHOD OF THE ABRASIVE WEAR TESTING CLADDED LAYERS

Андрій Войтович<sup>1</sup>, Володимир Гвоздецький<sup>2</sup>, Роман Влах<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;

<sup>3</sup>ПП «Компанія «Інтер-Трейд»,  
вул. Зелена, 149, м. Львів, 79035, Україна.

*The paper presents a new method investigation of abrasive wear resistance. The method was proved on the overlaid with the core wire 80Cr20B3Ti with different diameter core wire 80Cr20B3Ti 2,4 and 3,2 mm.*

Млинові вентилятори теплових електростанцій працюють у умовах інтенсивного абразивного зношування, що призводить до зменшення їх геометричних розмірів та виходу з ладу. За умов постійного контакту з абразивом, найбільш інтенсивне зношування відбувається на лопатках млинового вентилятора. Ефективним методом захисту зношених поверхонь пропонується напівавтоматичне наплавлення самозахисними порошковими дротами (ПД). Для вибору оптимального складу порошкового дроту розроблено експериментальна установка та методика випробувань, яка імітує експлуатаційні умови зношування лопаток млинового колеса. Методика реалізована на установці, що змонтована на електропечі і дозволяє проводити дослідження в інтервалі температур 25...600 °С. На верхній плиті електропечі закріплено електродвигун на осі якого зафіксований диск діаметром 280 мм, товщиною 12 мм. Диск з нижньої сторони розділений на чотири сектори, де закріплюються наплавлені зразки. Зразки занурені в абразив, що знаходиться в ємності, яка закріплена на поді електропечі. Для отримання достовірних результатів у двох протилежних секторах встановлюються однакові наплавлені зразки, в інших – еталонні зразки. Для усунення краєвих ефектів, зразки з верхньої та нижньої сторони закріплені до диска через шайби товщиною 5 мм, їх зовнішній діаметр рівний зовнішньому діаметру зразків. Швидкість обертання диска із зразками у абразиві регулюється від 5 – 40 м/с. При роботі установки відбувається подрібнення піску, що може вплинути на достовірність результату, тому, забезпечується безперервна подача свіжого абразиву, а також, виведення відпрацьованого з ємності. Швидкість введення і виведення абразиву регулюється фільтрами.

Досліджено абразивну зносостійкість наплавлених шарів отриманих із (ПД) – НП-80Х20РЗТ різного діаметру 2,4 і 3,2 мм. Встановлено, що матричною фазою наплавлених шарів з ПД діаметром 2,4 та 3,2 мм є залишковий аустеніт та мартенсит із включеннями різної кількості боридів на основі хрому та заліза. Наплавлення з ПД діаметром 3,2 мм підвищує вміст боридів у наплавленому металі, внаслідок чого зростає твердість та схильність до утворення тріщин шириною 5-10 мкм, які виходять на поверхню наплавленого шару. Визначено, що зношування наплавленого шару з ПД діаметром 2,4 мм відбувається рівномірно по всій поверхні. Абразивне зношування поверхні наплавленого шару з ПД діаметром 3,2 мм є нерівномірним внаслідок підвищеної твердості окремих ділянок наплавленого металу. Відбувається сколювання із наплавленої поверхні твердих частинок неповністю розплавленої

шихти. Для підвищення абразивної зносостійкості лопаток млинових вентиляторів із досліджених матеріалів, кращим є ПД НП 80Х20РЗТ діаметром 2,4 мм. Структура наплавленого шару є однорідною, кількість поодиноких тріщин, які утворюються під час наплавлення, не збільшується. Ерозійне зношування наплавленого зразка є рівномірним по всій поверхні. Підвищений опір зношуванню забезпечується гомогенною структурою наплавленого шару та рівномірним розподілом у ньому дисперсних фаз – боридів хрому та частково заліза.

## КОНЦЕНТРАЦІЯ ВОДНЮ НАВКОЛО КРАЙОВОЇ ДИСЛОКАЦІЇ З ПУСТОТІЛИМ ЯДРОМ

### HYDROGEN CONCENTRATION AROUND AN EDGE DISLOCATION WITH A METAL STRIP AND A HOLLOW KERNEL

Роман Гром'як<sup>1</sup>, Микола Стащук<sup>2</sup>, Мар'ян Дорош<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,  
вул. Руська 56, м. Тернопіль, 46001, Україна;

<sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

*The paper examines the redistribution of hydrogen around the edge dislocation taking into account its hollow core. The research was conducted for comparison of the respective values of concentration of hydrogen around the classical edge dislocation and dislocation considering hollowness nucleus. Calculations showed that the concentration of hydrogen around dislocations with hollow core is smaller than without this defect.*

Водневе середовище може призвести до передчасного і, в переважному ряді випадків, – до крихкого руйнування металів. Тому важливим є встановлення основних механізмів впливу водню на міцнісні характеристики металу. В рамках відповідної постановки задачі з водневої тематики першочерговим стає встановлення кінетики та розподілу концентрації водню у металі. У реальному твердому тілі завжди присутні різноманітні структурні неоднорідності, які обумовлюють появу розтягальних і стискальних областей матеріалу. Це в свою чергу буде впливати на кінетику та накопичення атомарного водню в кристалічній ґратці навколо наявних твердих тілах неоднорідностей. Одними із таких дефектів є крайові дислокації. В роботі [1] досліджено НДС крайової дислокації з пустотілим ядром (рис. 1).

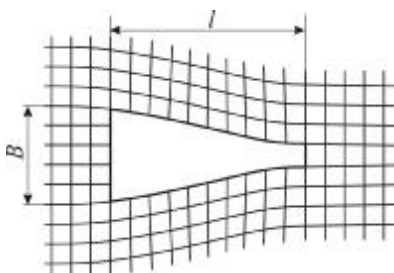


Рис. 1. Крайова дислокація з пустотілим ядром [2]

В даному повідомленні проведена оцінка розподілу концентрації водню навколо крайової дислокації з урахуванням її пустотілості.

**Основні рівняння оцінювання перерозподілу водню.** Приймаючи, що концентрація водню у безмежно віддалених точках тіла стала і рівна  $C_0$ , для знаходження перерозподіленої концентрації водню  $C$  скористаємось виразом

$$C = C_0 \exp[V_H \sigma / RT], \quad (1)$$

де  $V_H$  – парціальний молярний об'єм атома водню в металі;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура;  $\sigma = (\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})/3$  – гідростатичні напруження.

Дислокації навколо себе ініціюють НДС, наслідком чого є перерозподіл та накопичення водню у металах. Гідростатичні напруження, викликані крайовою дислокацією з пустотілим ядром, наступні [1]:

$$\sigma = 4/3(1 + \nu) \operatorname{Re} \Phi(z), \quad (2)$$

де  $\Phi(z) = \mu B / [4\pi(1 - \nu)\sqrt{z}\sqrt{z - l}]$ ;  $\mu$  – модуль зсуву,  $\nu$  – коефіцієнт Пуассона,  $B$  – вектор Бюргерса.

Зі співвідношень (1) та (2) навколо крайової дислокації з пустотілим ядром на тривалому проміжку часу (часу насичення) отримано відносний перерозподіл водню  $C/C_0$ . Відповідні числові розрахунки зображено на рис. 2, де  $a$  – період кристалічної ґратки. Проведено відповідні порівняння величини концентрації водню навколо класичної крайової дислокації [3] та дислокації з урахуванням пустотілості ядра. Розрахунки показали, що концентрація водню навколо дислокації з пустотілим ядром є меншою ніж без врахування такого дефекту.

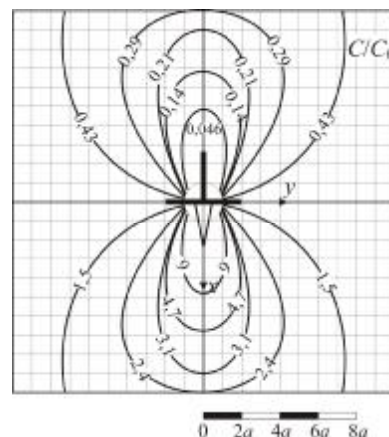


Рис. 2. Відносний перерозподіл водню навколо крайової дислокації з пустотілим ядром

1. Стацук М., Дорош М. Визначення геометричних параметрів та складових енергій крайової дислокації / Під заг. ред. В.В. Панасюка – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ // 2014. – С. 55 – 62. 2. Фридель Ж. Дислокації. – М.: Наука, 1967. – 294 с. 3. Дорош М., Гром'як Р., Стацук М. Оцінка концентрації водню в пластично здеформованому металі / Під заг. ред. В.В. Панасюка – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАНУ // 2014. – С. 603 – 608.

## ВПЛИВ ВОДНЮ НА МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АУСТЕНІТНИХ СТАЛЕЙ ТА СПЛАВІВ

### THE INFLUENCE OF HYDROGEN ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF AUSTENITIC STEELS AND ALLOYS

Любомир Іваськевич, Володимир Мочульський, Станіслав Гребенюк

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

The effect of high-pressure hydrogen atmosphere at pressures to 30 MPa and preliminary absorbed at 623 K hydrogen (12 and 20 wppm respectively) on the mechanical properties of the EP-750 (07X25H16AG6Ф) steel and EK-62 (XH56МБЮД) alloy at room temperature and a displacement rate 0.1 mm/min was investigated. It has been established that fracture toughness  $K_{IC}$  is sensibility indicator of hydrogen embrittlement and can be use for calculations of hydrogen power engineering structural elements.

Досліджували вплив газоподібного водню за тиску 30 МПа на малоциклову довговічність, міцність, пластичність та короточасну статичну тріщиностійкість хромонікельмарганцевої сталі ЕП-750 і жароміцного дисперсійно твердого сплаву ЕК-62ВД. Хімічний склад, режими термічної обробки, механічні властивості у гелії (чисельник) та водні під тиском 30 МПа після попереднього наводнення за 723 К до вмісту водню 12 та 20 млн<sup>-1</sup> (знаменник) матеріалів приведені у таблиці 1.

Таблиця 1

Хімічний склад, режими термічної обробки та механічні властивості матеріалів

| Хімічний склад<br>(ваг. %)                                                                        | Термічна обробка |                                    | Механічні властивості |                      |              |            |                                               |                           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|------------|-----------------------------------------------|---------------------------|
|                                                                                                   | гартування       | старіння                           | $\sigma_B$ , МПа      | $\sigma_{0.2}$ , МПа | $\delta$ , % | $\psi$ , % | N, циклів до руйнування<br>$\epsilon = 1,6\%$ | $K_{IC}$ , МПа $\sqrt{м}$ |
| 07X25H16AG6Ф:<br>C-0,006; Si-0,46; V-0,36; Cr-24,4; Ni-16,08; Mn-6,14; N-0,44                     | 1150 K<br>1 год. | –                                  | 900<br>900            | 490<br>490           | 52<br>48     | 64<br>60   | 3760<br>2300                                  | 90<br>63                  |
| XH56МБЮД:<br>C-0,04; Si-0,12; Cr-16,4; Mo-5,2; V-0,35; Nb-5,2; Ti-0,58; Al-1,0; Fe-15,14; Cu-0,49 | 1253 K<br>1 год. | 1023 K, 16 год.,<br>923 K, 10 год. | 1320<br>880           | 840<br>750           | 34<br>4      | 48<br>12   | 3205<br>54                                    | 112<br>52                 |

Розмір зерна зміцненої азотом стабільної аустенітної сталі ЕП-750 – 145 мкм, сплаву ЕК-62ВД – 90 мкм. Вміст карбідів TiC, боридів Me<sub>3</sub>B<sub>2</sub> та інтерметалідів Ni<sub>3</sub>(Al, Ti, Nb) у нікелевому сплаві

складає 15-17%. Випробували за 293 К п'ятикратні циліндричні зразки діаметром 5 мм, компактні зразки товщиною 20 мм і плоскі зразки розмірами із розмірами робочої частини 20×6×2,5 мм. Швидкість розтягу становила 0,1 мм/хв., частота і амплітуда малоциклового згину – 0,5 Гц та 1,6 % відповідно.

Встановлено, що гомогенна аустенітна сталь ЕП-750 за всіх методів випробувань значно менш чутлива до спільної дії зовнішньої водневої атмосфери та заздалегідь поглиненого за підвищених температур водню, ніж зміцнений інтерметалідами сплав ЕК-62ВД. Так, малоциклова довговічність сталі знижується у присутності водню в 1,63 раза, в'язкість руйнування – в 1,43 раза, а міцність і пластичність за короточасного розтягу практично не змінюються. Окрихнення сплаву ЕК-62ВД проявляється у суттєвому зменшенні показників пластичності  $\delta$  і  $\psi$ , числа циклів до руйнування  $N$  та коефіцієнта інтенсивності напружень  $K_S$ , а також границі міцності, яка у водні нижча, ніж  $\sigma_B$  сталі. Злами зразків із сталі за всіх видів випробувань в'язкі транскристалітні в обох середовищах, а характер руйнування сплаву ЕК-62ВД змінюється від змішаного у гелії до повністю міжзеренного у водні.

Для обох матеріалів чутливими показниками водневого окрихнення є малоциклова довговічність та в'язкість руйнування за короточасного розтягу, які можуть бути використані як критеріальні характеристики роботоздатності матеріалів у воденьовмісних газах.

Таким чином зміцнена азотом гомогенна аустенітна сталь ЕП-750 стійка до дії водню високого тиску, коли відбувається його абсорбція за тривалої експлуатації. Враховуючи значно менший вміст вартісних легуючих елементів, можна рекомендувати її як порівняно недорогий матеріал для виготовлення деталей, що працюють у середовищі водню.

## ЄДИНЕ ПОЛЕ ЕЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ МЕТАЛОПОЛІМЕРНИХ ФРИКЦІЙНИХ ПАР

### UNIQUE ELECTROTHERMOMECHANICAL CO-OPERATION FIELD OF SUPERFICIAL LAYERS OF METAL-POLYMER FRICTION PAIRS

Святослав Криштопа

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The article materials are devoted to conduct of materials in contact-impulse frictional interaction in electric and thermal field with the wave theory of acting on the contact patch of microledges of metal-polymer friction pairs. On the basis of analysis of numerous theoretical and experimental researches the set intercommunication of processes, phenomena and effects, which take place on macro-, micro- nanolevels during contact-impulsive to friction co-operation.*

За останні п'ять-десять років у вітчизняних та закордонних періодичних виданнях з'явився ряд публікацій щодо досліджень єдиного поля взаємодії для різних об'єктів, одним з яких є металополімерні пари тертя гальмівних механізмів. Зношення і руйнування фрикційних матеріалів під час процесів тертя в гальмівних пристроях обумовлені сумісною дією комплексу механічних, електричних, теплових, хімічних і електромагнітних полів на поверхневих і підповерхневих шарах фрикційних матеріалів і їхніх градієнтів, які викликають зміни в матеріалах пар тертя. Кожному з типів взаємодії під час процесів електротермомеханічного тертя металополімерних фрикційних пар відповідає певне поле.

На мікрівиступах плям контактів металополімерних пар під час електротермомеханічного тертя діють динамічні навантаження, генеруються електричні і теплові струми, відбуваються хімічні перетворення. Особливо себе проявляють температурні градієнти по шарах фрикційних матеріалів, які мають різні коефіцієнти лінійного розширення, що веде до виникнення в них істотних теплових напружень. При цьому все більшу увагу надається питанням дослідження електричних і теплових імпульсів і тепловим напруженням у важконавантажених фрикційних вузлах барабанно-колодкових гальм автотранспортних засобів та стрічково-колодкових гальмах бурових лебідок.

На підставі аналізу численних теоретичних і експериментальних досліджень встановлений взаємозв'язок процесів, явищ і ефектів, що відбуваються на макро-, мікро- і нанорівнях під час

контактно-імпульсної взаємодії пар тертя гальмівних пристроїв. Основними параметрами, на які сконцентровано увагу, є питомі навантаження на плямах контактів мікровиступів, поверхневі температури та їхні градієнти, нормальна сила, динамічний коефіцієнт тертя, опір матеріалів електричному і тепловому імпульсу. Перераховані параметри істотно впливають на градієнтну теорію єдиного поля взаємодії.

Під опором фрикційних матеріалів електричному і тепловому імпульсу мається на увазі їхні властивості проходження відповідних імпульсів в умовах миттєвої генерації електричного і теплового струму на контактуючих поверхнях металополімерних пар тертя. Проблема опору матеріалів електричному і тепловому імпульсу та тепловим напруженням обумовлена дією не тільки теплових полів, але і сукупності інших вищезазначених полів, які супроводжують перші.

Розробка узагальненої електротермомеханічної теорії тертя і зношення металополімерних фрикційних пар дозволить надалі здійснювати прогнозування, регулювання і управління зміною внутрішніх і зовнішніх експлуатаційних параметрів гальмівних пристроїв, зокрема барабанно-колодкових гальм автотранспортних засобів та стрічково-колодкових гальм бурових лебідок, з метою підвищення їхньої ефективності і збільшення ресурсу їхніх фрикційних вузлів.

### **МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МАТЕРІАЛІВ ТА ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ СПЛАВІВ ЗАЛІЗА ТА ТУГОПЛАВКИХ СПОЛУК В УМОВАХ ТЕРТЯ ПО ЗАКРІПЛЕНОМУ АБРАЗИВУ**

#### **THE METHOD OF ANALYZING WEAR RESISTANCE OF MATERIALS AND COATINGS ON THE BASIS OF IRON ALLOYS AND REFRACTORY COMPOUNDS UNDER CONDITIONS OF FIXED- ABRASIVE FRICTION**

**Дмитро Луцак, Павло Присяжнюк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The method of analyzing wear resistance of materials and coatings that are used in conditions of abrasive wearing with dynamic loads is considered in this paper.*

У роботі розглянуто методику дослідження зносостійкості матеріалів та покриттів, які використовуються в умовах експлуатації, що супроводжуються абразивним зношуванням при значних динамічних навантаженнях.

Для випробування матеріалів з метою визначення їх відносної зносостійкості в зазначених умовах використовувалась установка, в якій реалізується тертя ковзання випробовуваного взірця по торцевій поверхні диска з монолітного абразиву. В процесі випробувань взірець контактує з боковою поверхнею абразивного циліндра (круга) при сталій лінійній швидкості та незмінному питомому навантаженні.

Для порівняльного аналізу було вибрано матеріали різних типів: карбідосталь на основі TiC зі зв'язкою зі сталі 30X13 (X30Cr13 – виробництво Данія), яка використовується для оснащення бил дробарок при виробництві цементу, структура якої представляє собою зерна карбідної фази розмірами  $\sim 1 \div 2$  мкм достатньо рівномірно розподілені у сталій матриці об'єм якої становить  $\sim 50$  об. %; карбідосталь на основі TiC, отримана методом просочування карбідного каркасу сталлю 110Г13Л із середнім розміром карбідних зерен  $\sim 5$  мкм (кількість зв'язки – 40 об. %); карбідосталь на основі NbC, отримана методом просочування карбідного каркасу сталлю 110Г13Л із середнім розміром карбідних зерен  $\sim 2,8$  мкм. Зразки із електродних матеріалів для дослідження отримували шляхом наплавлення на сталі зразки електродів наступних марок: Т-590 (виробництва ОАО “Спецеллектрод”, Росія), ОК 84.80 (фірма ESAB, Велика Британія), ЦС-1 (сормайт, ГОСТ 21449-75). Еталоном при дослідженнях була сталь марки 110Г13Л наплавлена на зразок циліндричної форми газополуменевим методом.

Як контртіло (абразив) використовувався абразивний круг діаметром 300 мм та товщиною 40 мм. Швидкість ковзання становила 0,21 м/с, шлях тертя становив 33 м. Випробування проводилось на зразках циліндричної форми діаметром 10 мм (зразки для випробування зносостійкості карбідосталей отримували шляхом припаювання таблеток, виготовлених із них, до сталіних взірців).

Оцінка зносостійкості проводилась за втратою маси, шляхом зважування взірців на аналітичних вагах із точністю  $\sim 1$  мг.

Результати проведених досліджень показують, що найбільш високою зносостійкістю характеризуються матеріали із вираженою гетерофазовою структурою із рівномірно розподіленими зернами тугоплавких сполук у сталевій матриці. Таким чином, розробка матеріалів із сталеву основою для експлуатації в умовах абразивного зношування передбачає вибір таких систем “тугоплавка сполука-сталь” у яких розміри та морфологія армуючої фази можуть регулюватись у широкому діапазоні. Технологіями, які можуть забезпечити вказані умови, є, зокрема, самопоширюваний високотемпературний синтез або отримання композицій зі сталеву зв’язкою методами порошкової металургії.

## ОЦІНЮВАННЯ КОРОЗІЙНО-ВОДНЕВОЇ ДЕГРАДАЦІЇ СТАЛЕЙ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНИХ РЕЗЕРВУАРІВ ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ

### ESTIMATION OF CORROSION-HYDROGEN DEGRADATION OF OIL STORAGE TANKS STEELS AFTER ITS LONG TERM SERVICE

Дмитро Петрина, Василь Гоголь, Михайло Гоголь

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.

*The analysis of corrosion fracture of oil storage tanks internal surface in dependence on mineral oil state and inservice conditions and also degradation of corrosion mechanical corrosion-mechanical properties caused by long-term service of tanks. The important role of hydrogenation of steels in its operation degradation is shown.*

Однією з основних причин виходу з ладу обладнання для зберігання нафти є корозія металу. Корозійне руйнування ємностей зберігання нафти спричиняє не тільки втрати сировини, але і великі матеріальні витрати, обумовлені простим численних промислових підприємств, забрудненням навколишнього середовища. Тому питання технічного діагностування та визначення залишкового ресурсу обладнання, яке відпрацювало розрахунковий термін служби, є дуже актуальне і має велике практичне значення.

Дослідження проведене на комплексі обладнання який встановлений на груповій замірній установці ГЗУ-Богдан (НГБУ «Чернігівнафтогаз») та резервуарі РВС-1000 №1 (БАТ «Нафтохімік Прикарпаття», м. Надвірна). Аналіз аварійності обладнання показав, що основну частину відмов (біля 60%) складають і мають тенденцію до збільшення корозійно-механічні пошкодження, руйнування зварних з’єднань, зношення, втрата міцності та герметичності обладнання.

Тривала експлуатація резервуарів знижує опір сталей крихкому руйнуванню. Найкраще ризик крихкому руйнуванню характеризують ударна в’язкість і тріщиностійкість. Проведені випробування резервуарної сталі Ст.3сп після 42-х річної експлуатації на ударну в’язкість показали, що її значення KCV були в 1.5 разів нижчими порівняно з неексплуатованим металом.

Значні пластичні деформації інтенсифікують корозію сталі нафтового резервуару у підтоварній воді та зменшують відмінність між корозійною стійкістю різних його ділянок.

Узагальнюючи причини відмов обладнання зазначимо, що вони, як правило, зумовлені організаційними та технічними чинниками трьох типів: неправильною експлуатацією обладнання недосконалим його виготовленням відсутністю високоефективних методів і засобів для точної об’єктивної оцінки якості обладнання та з’єднань його елементів і вузлів протягом усього терміну експлуатації.

Суттєвий вплив на корозійне руйнування внутрішніх поверхонь резервуарів має розподіл фаз складових нафтового середовища, фізико-хімічні властивості цих складових, вміст у нафтопродукті корозійно-активних домішок, наявність речовин, які можуть утворювати захисні плівки на металевій поверхні, кислотність середовища.

Показано, що дефекти, виявлені при технічному огляді обладнання зберігання нафти, часто мають постійний характер, пов’язаний з його конструкцією та характером роботи. Запропоновані



заходи, які змінили б недосконалу конструкцію резервуарів усунули причини виникнення такого роду дефектів.

За сумісної дії механічного навантаження та наводнювального середовища тривала експлуатація сталей обладнання для зберігання нафти зумовлює інтенсифікацію корозійних процесів.

Вміст залишкового водню в експлуатованій сталі резервуару вищий, ніж у вихідному металі. Встановлено, що внаслідок зростання дефектності експлуатованого металу пасткування в ньому водню відбувається інтенсивніше порівняно з неексплуатованим матеріалом.

## ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГУВАННЯ НА ЗНОСОТРИВКІСТЬ СПЛАВУ BT22

### EFFECT OF LASER ALLOYING ON THE WEAR RESISTANCE OF BT22 ALLOY

Едуард Плешаков, Сергій Швачко, Надія Сагайдак

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*Niobium boride and graphite powders were pre-deposited on the BT22 alloy with the aim to synthesize cermet coatings by pulsed laser melting. The produced coatings had very good bonding with the substrate and were free of cracks. The coatings had microhardness ranging from 9 GPa to 13 GPa. Their microstructure consisted of NbC and TiC dendrites distributed in the  $\alpha'$ -martensite matrix. The wear resistance was significantly increased by laser alloying when compared to conventionally treated alloy.*

Промислові титанові сплави широко застосовуються у тих галузях промисловості, які вимагають матеріалів з високими питомою міцністю й опором корозії. Проте істотним недоліком титанових сплавів є низькі триботехнічні властивості, зокрема зносотривкість, схильність до контактного схоплювання, що обмежує їх застосування у вузлах тертя. Новою перспективною технологією для поліпшення триботехнічних властивостей титанових сплавів є лазерне поверхнєве легування різноманітними твердими сполуками, яке забезпечує формування поверхневих композитних металокерамічних шарів підвищеної зносотривкості. Зносотривкість лазерно легованих шарів залежить від низки чинників: структурно-фазового складу, їх адгезії з основою, наявності порушень суцільності шарів у вигляді пор, мікротріщин тощо.

У даній роботі досліджено вплив лазерного легування через обмазки із суміші дибориду Ніобію з графітом на зносотривкість та механізм зношування двофазного титанового сплаву BT22 в умовах тертя без мащення. Лазерне легування здійснювали на установці «Квант-16» в імпульсному режимі з коефіцієнтом перекриття зон лазерної дії 0,7...0,8 (діаметр зони – 2 мм).

Лазерна дія спричиняє розплавлення компонентів обмазки й поверхневого шару підкладки та інтенсивне перемішування їх гідродинамічними потоками у ванні розплаву. Таким чином, основними елементами, з яких в умовах надшвидкої кристалізації формується фазовий склад поверхневого шару, є Ti, C, Nb, B, Al, Mo, V. За результатами металографічних й рентгенографічних досліджень встановлено, що структуру шару завглибшки до 150 мкм складає  $\alpha'$ -мартенситна матриця, зміцнена твердими вкрапленнями карбідів NbC та TiC дендритної форми. Мікротвердість у зоні лазерного легування змінюється в широкому інтервалі від 9 ГПа до 13 ГПа внаслідок неоднорідності структури й хімічного складу. У зоні термічного впливу мікротвердість зменшується до 5 – 5,5 ГПа. У зонах лазерної дії не виявлено жодних порушень суцільності.

Зносотривкість оцінювали за середніми значеннями питомого масового зношення та інтенсивності зношування на етапі усталеного зношування в умовах тертя без мащення за схемою «диск-колодка» на установці 2070 СМТ-1. Випробування проводили за таким режимом: частота обертання диска-контртіла 140 об·хв<sup>-1</sup>, тиск колодки-зразка на контртіло 2 МПа. Лазерне легування істотно підвищило зносотривкість поверхні порівняно із вихідним станом. Так, середнє значення питомого масового зношення на етапі усталеного зношування зразків в умовах тертя без мащення у вихідному стані становило  $220 \cdot 10^{-6}$  г·см<sup>-2</sup>·об<sup>-1</sup>, після лазерного легування диборидом Ніобію та графітом –  $1,5 \cdot 10^{-6}$  г·см<sup>-2</sup>·об<sup>-1</sup>.

Поверхні зношування зразків мали борознисто-плівкову мікроструктуру. На відміну від глибокого борознистого рельєфу поверхонь зношування зразків у вихідному стані поверхні лазерно



легованих зразків були гладкіші і мали слабо виражену борознистість. Борозниста структура поверхонь зношування незаперечно засвідчує абразивний характер зношування зразків. Натомість, найвірогіднішим механізмом утворення абразивних частинок у зоні контакту є окиснювальне зношування.

## ОТРИМАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ АЛІТОВАНИХ ПОКРИТТІВ В УМОВАХ СВС

### PREPARATION FOR MULTI-ALUMINIZED COATINGS UNDER SHS

Борис Середа, Дмитро Середа

*Запорізька державна інженерна академія,  
пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69000, Україна.*

*Application of aluminized coatings under self-propagating high-temperature synthesis (SHS) is caused by the process of burning powder medium and content in her gas transport agent. In order to intensify the application of aluminized coatings studied thermal characteristics of the process of non-stationary combustion exothermic powder materials and processes of diffusion, a carrier gas flow to the treated surface.*

Нанесення алітованих покриттів в умовах високотемпературного синтезу (СВС) обумовлюється процесами горіння порошковою середовища та вмістом у ній газотранспортного агента. З метою інтенсифікації нанесення алітованих покриттів проведені дослідження теплофізичних характеристик процесу нестационарного горіння екзотермічних порошкових середовищ і процесів дифузії, несучих газовий потоків до оброблюваної поверхні.

В роботі отримували хромоалітовані, хромосіліцовані покриття. При введенні в суміш від 5 до 15% алюмінію протікає одночасне насичення хромом і алюмінієм. В якості газотранспортного агента використовувалися  $I_2$ ,  $NH_4Cl$ . Захисний шар являє собою фази  $FeAl$ ,  $Fe_3Al$ ,  $FeCr$ . На поверхні формується пориста зона і присутні карбіди  $(Fe, Cr)_{23}C_6$ ,  $(Fe, Cr)_7C_3$ . З алюмінідних фаз присутні фази  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl$ ,  $Fe_3Al$ .

Розподіл хрому і алюмінію по товщині дифузійних шарів. Комплексне насичення стали хромом і алюмінієм можна розглядати як їх одночасно дифузію з одного джерела, швидкість якої може істотно змінюватися із збільшенням градієнта термодинамічної потенціалу, у міру ускладнення складу, а також у зв'язку з можливим взаємодією дифузійних потоків.

Багатокомпонентне насичення проводили в реакторі відкритого типу в інтервалі температур 900-1100 С. Тривалість ізотермічної витримки змінювали в межах до 60 хв. Температура СВС - суміші контролювали вольфрам-ренієвою термопарою типу ВР-5 в захисному чохла, введеної безпосередньо в об'єм суміші і підключеної до регулятора температури «Мікро-600».

У суміш на ряду з хромистою складовою вводили порошки алюмінію, окису алюмінію, йоду, хлористого амонію, кристалічного кремнію, окису кремнію. На підставі аналізу реакцій, що проходять при хіміко-термічній обробці в режимі теплового самозаймання порошкової суміші, а також результатів експериментів і металографічних досліджень, розробили схему освіти зміцнених шарів на залізовуглецевих матеріалах.

1. Процессы горения и синтеза материалов. Под ред. В.Г.Телепы, А.В.Хачояна. Черноголовка: ИСМАН, 1998. – 512с. 2. Середа Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконь Ю.О. 2. Обработка металів тиском при нестационарних температурних умовах. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2009 – 252 с. 3. Похмурский В.И. Коррозионно - усталостная прочность сталей и методы ее повышения – Киев:Наукова думка, 1974 – 183с.

## ОТРИМАННЯ АЛІТОВАНИХ ПОКРИТТІВ НА СТАЛЯХ ПРИ НЕСТАЦІОНАРНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ УМОВАХ

### GETTING ALUMINIZED COATINGS ON STEEL UNDER UNSTEADY TEMPERATURE CONDITIONS

Дмитро Середа

Запорізька державна інженерна академія,  
пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, 69000, Україна.

*Diffusion aluminizing provides reliable protection for high-carbon steels from oxidation at  $t^{\circ} 1000$  for a long time, prevents decarburization. Protective properties aluminized layer depends on its thickness, structure and composition.*

Дифузійне алітування забезпечує надійний захист високо-вуглецевих сталей від окислення при  $t^{\circ} 1000$  в плінні тривалого часу, запобігає обезвуглецюванню. Захисні властивості алітованого шару залежать від його товщини, структури і складу.

У цій роботі досліджували структуру, фазовий склад алітованного шару отриманого в режимах горіння і теплового самозаймання СВС систем містять  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  активатори процесу І2. В якості газотранспортного агента використовували йод. За час процесу від 15 хв до 60 формуються шари товщиною від 15-25 мкм до 100-130 мкм. Алітування проводили на технічному залізі і сталях 20,45 і У8А. З підвищенням вмісту вуглецю в сталі товщина шару зменшується. Залежно від максимальної температури процесу спостерігається як газофазне насичення, так і комбіноване, коли утворюється рідка фаза. Все це призводить до різкого збільшенню товщини шару, до 200-300 мкм.

Поверхнева концентрація алюмінію в залежності від режиму насичення становить від 30% до 60%. Використання сумішей СБП-5, СБП-7 дозволяє уникнути формування в шарі фази  $\text{Fe}_2\text{Al}_5$ . Фазовий склад шару складається з  $\text{FeAl}$ -  $\text{Fe}_3\text{Al}$ -  $\alpha$ . Використання в якості газотранспортного агента йоду призводить до утворення стрічкової структури і більш високому поверхневому змісту алюмінію. Градієнт зміни концентрації алюмінію виражений більш яскраво.

Випробування на жаростійкість зразків при температурах 600, 800, 1000  $^{\circ}\text{C}$  показало їх стійкість в 4,5; 3,8 і 3,2 рази більшу, ніж у зразків, оброблених за стандартною порошкової схемою. Простота технології і можливість використовувати кінцевий продукт дозволяє створити маловідходний технологічний процес формування алітованих шарів. Структуру покриття досліджували на металографічному мікроскопі Neophot-2 і піддавали рентгенографічному аналізу. Для визначення типу фаз і розподілу їх по глибині дифузійного шару проводили пошарове рентгенографічний аналіз після послідовного стравлювання верств шліфа товщиною 0,05 мм.

На поверхні зразків виявлена фаза  $\text{FeAl}$  тому при тепловому займань СВС суміші на початку утворюється фаза  $\text{FeAl}$ , а потім відбувається дифузія  $\text{Al}$  насичуючи підкладку. Випробування клапанів двигуна внутрішнього згорання, підданих алітуванню в умовах СВС, показало збільшення їх стійкості в 1,5-1,8 рази.

1. Середа Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконь Ю.О. Обработка металлов тиском при нестационарных температурных условиях. – Запоріжжя: Вид-во ЗДІА, 2009 – 252 с. 2. Процессы горения и синтеза материалов. Под ред. В.Г.Телепы, А.В.Хачояна. Черноголовка: ИСМАН, 1998. – 512с.

## УТВОРЕННЯ ХІМІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗОНІ ПОДОЛАННЯ ЗЧЕПЛЕННЯ МІЖ АТОМАМИ МЕТАЛУ В ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ В МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДНОМУ ТЕХНОЛОГІЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

FORMATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE ZONE AWAY ADHESION BETWEEN THE METAL ATOMS DURING THE CUTTING PROCESS IN LUBRICATING AND COOLING TECHNOLOGY ENVIRONMENT

Віктор Сошко, Ігор Сімінченко, В'ячеслав Ляшков

Херсонський національний технічний університет,  
вул. І. Куліка, 130, м. Херсон, 73008, Україна.

*The formation of chemical elements in a zone overcome adhesion between metal atoms in the cutting process. it was assumed that in the cutting area, a chemical activation lubricating technological tools. It is*

*shown that in the cutting zone occurs chain pyrolytic conversion of the starting of the cutting process fluid accelerated by the newly produced catalytically active surfaces.*

У запропонованій гіпотезі [1], передбачалося, що в зоні різання відбувається хімічна активація мастильно-охолоджувальних технологічних засобів (МОТЗ). Для з'ясування можливості протікання такого процесу досліджувалася поверхня після точіння різних металів (нікель, молибден, хром, мідь) у МОТЗ, а також визначалася сполука газової суміші в зоні різання, утворення якої стало б можливою в результаті передбачуваного розпаду речовин, що входять до складу МОТЗ. Відбір досліджених газів проводився за допомогою каліброваного натікателю в об'єм (1 л) протягом 1,5 хв. Усі летучі продукти збирали спочатку при температурі рідкого азоту ( $-196^{\circ}\text{C}$ ) в однілітровий об'єм.

Відібрану фракцію конденсували, (час конденсації 30 хв.), переморожували її в малий об'єм ( $10\text{ см}^3$ ) з наступним заповненням ампул гелієм для проведення хроматографічного аналізу. Газоподібна фракція, що не конденсується при температурі рідкого азоту, не аналізувалася. Свердління стали 1Х18Н9Т у середовищі МОТЗ робили свердлом Р18  $d=5\text{ мм}$  при швидкості обертання свердла 1500 об/хв.

Аналіз газової фази (табл. 1) проводився на газовому хроматографі CHROM-5 ( $70^{\circ}\text{C}$ , Porapak-Q, витрата газу-носія 30 мол/хв.). Висока чутливість хроматографа дозволяє ідентифікувати гази в кількості не менш  $10^{-8}$  моль.

Таблиця 1

Аналіз газової фази при термомеханічній обробці

| №  | Піроліз                |      | Свердління             |      | Час утримання індивідуальних речовин, сек. |            |
|----|------------------------|------|------------------------|------|--------------------------------------------|------------|
|    | Поліетиленова емульсія | МОТЗ | Поліетиленова емульсія | МОТЗ |                                            |            |
| 1  | 17                     | 16   | 16                     | 17   | 17                                         | метан      |
| 2  | -                      | 29   | 28                     | -    | 30                                         | етилен     |
| 3  | 30                     | 33   | 33                     | 34   | 34                                         | етан       |
| 4  | 99                     | 100  | 96                     | 105  | 96                                         | пропиляний |
| 5  | 145                    | -    | -                      | -    | 105                                        | пропан     |
| 6  | 263                    | 260  | 257                    | 264  | -                                          | -          |
| 7  | 400                    | 400  | 400                    | 410  | 400                                        | ізобутан   |
| 8  | 575                    | -    | -                      | -    | -                                          | -          |
| 9  | 1260                   | -    | 1280                   | 1200 | 1290                                       | ацетон     |
| 10 | 1650                   | 1620 | -                      | -    | 1620                                       | пентен     |
| 11 | 4380                   | 4350 | -                      | -    | 4350                                       | гексан     |
| 12 | -                      | 6690 | -                      | -    | 6630                                       | гексан     |

У таблиці наведені результати хроматографічного аналізу газоподібних продуктів після термічного й механохімічного розкладання ПЕ емульсії.

З таблиці видно, що в зоні різання утворюється ряд ароматичних граничних вуглеводнів, що є продуктами хімічних реакцій вихідного середовища.

Методом скануючої ожеспектроскопії, вивчався хімічний склад поверхневих шарів матеріалу після точіння в МОТЗ. Показано, що на поверхні матеріалу спостерігається більша концентрація вуглецю після механічної обробки в полімерній сполуці й у той же час, практично відсутні сигнали О та Fe. Відсутність на обробленій поверхні кисню говорить про те, що поверхня вільна від окисних плівок у зв'язку з тим, що водень і вуглецеводневі сполуки «зв'язують» кисень, тобто працюють як відновлююче середовище.

Результати досліджень показують, що в зоні різання відбувається ланцюг піролітичних перетворень вихідної МОТЗ, що прискорюються каталітично активними поверхнями, що знову утворюються.

Можна припустити, що в зоні різання поблизу ріжучої крайки в умовах високих температур зсувних навантажень і наявності екзоелектронної емісії, будь-яка новоутворена хімічна сполука з МОТЗ деформується потім до стану хімічної плазми з істотною перевагою активних форм водню й вуглецю. Таким чином, спостережувані ефекти можна пояснити на основі вищезгаданої гіпотези про роль активних форм водню й вуглецю в термомеханічному процесі.

1. Сошко О.І., Сошко В.О. *Мастильно-охолоджувальні технологічні засоби у механічній обробці металів*, Херсон: Олді-плюс, 2008. - 390 с.

## ПРО ВПЛИВ ОБОРОТНОЇ АДСОРБЦІЇ НА ПРОЦЕС РУЙНУВАННЯ МЕТАЛУ

## INFLUENCE OF PROCESS REVERSIBLE ADSORPTION ON THE FRACTURE OF METALS

Олександр Сошко

*Херсонський національний технічний університет,  
вул. І. Куліка, 130, м. Херсон, 73008, Україна.*

*Considered the various elements of the periodic system in terms of energy with the energy of the same sign, as well as the effects of reducing the surface energy, which occurs on the crack. Shows the effect of adsorption on the energy which integral sheet is small and may not cause a noticeable change in the strength are likely initial surfactant active medium is converted to a hydrogen plasma and causes a change in the physical and mechanical properties of the material.*

Незважаючи на досягнуті успіхи в розробці теоретичних концепцій механізму явищ, спостережуваних у процесах, що викликають зниження міцності твердого тіла при його контакті з поверхнево-активним середовищем, є низка дискусійних питань у трактуванні механізму й він безумовно потребує подальших досліджень, пророблення й апробації.

Наприклад, відомо, що, в енергетичному плані, поверхні різних елементів періодичної системи мають енергію того самого знака, а в силовому, може бути два варіанти орієнтації нормальної складової ортогональних і дотичних сил, що діє на поверхневі атоми: від поверхні вглиб матеріалу й назовні. При першому варіанті тріщини, що виникають у процесі росту, додаткові сили будуть сприяти росту тріщини, а в другому, навпаки, прагнути захлопнути тріщину. Для заліза і його сплавів додаткові сили спрямовані усередину кристала й поверхневі міжатомні зусилля прагнуть зруйнувати тіло. Якщо на таких поверхнях відбувається адсорбція, то в результаті компенсації розірваних сил зв'язків одночасно зі зниженням поверхневої енергії відбудеться й нівелювання дії додаткових сил, що побільшає опір просуванню тріщини, тобто буде сприяти вповільненню її росту. Таким чином, при адсорбції середовища на поверхнях, що знову утворюються, в ультрамікроскопічній області матеріалу вершини тріщини йдуть два протилежні за знаком процеси, що прагнуть, в одному випадку, згідно з адсорбційною теорією, полегшити руйнування, у результаті зниження поверхневої енергії, а в іншому – вчинити опір росту тріщини, у зв'язку з компенсацією виниклих додаткових міжатомних і позаатомних зусиль.

Очевидно при цьому, що оскільки зниження поверхневої енергії відбувається на «берегах» тріщини, що утворювалися у зв'язку з її ростом, то зміна поверхневої енергії цих знову утворених поверхонь не може відбитися на актах перебудови й розриву міжатомних зв'язків матеріалу в тупиковій частині тріщини.

Виходячи із цієї моделі, адсорбція середовища, звичайно за умови її контакту з матеріалом у вершині зростаючої тріщини, може тільки загальмувати її рух, що суперечить основним положенням адсорбційної теорії полегшення процесів деформування й руйнування твердого тіла.

Не завжди коректне полегшення процесів деформації й руйнування твердого тіла під дією середовища зв'язувати зі зменшенням поверхневої енергії, оскільки цей параметр пропорційний затрачуваній енергії на руйнування тільки для простого розколювання матеріалу, тобто при тендітному розчленовуванні. При руйнуванні реальних твердих тіл, наприклад при пружно-грузлому руйнуванні металу, у результаті його механічної обробки різанням, частка поверхневої енергії в загальному балансі всієї затрачуваної енергії взагалі мізерно мала ( $10^{-3} - 10^{-4}$ ). Тому вплив середовища на параметр, який у сумарному балансі витраченої енергії на процес руйнування не відіграє істотної ролі не може викликати помітних змін міцності матеріалу. Однак, у дійсності, застосовувані в механічній обробці мастильно-охолодні технологічні засоби (МОТЗ) впливають на ефективність обробки.

Крім цього, зміна міцності матеріалу під дією середовища зв'язувати зі зменшенням поверхневої енергії в результаті її адсорбції, можливо (і те з великою обережністю) тільки для простого розколювання матеріалу, тобто при тендітному розчленовуванні. При руйнуванні реальних твердих тіл, наприклад при різанні, частка поверхневої енергії в загальному балансі всієї затрачуваної енергії становить усього ( $10^{-3} - 10^{-4}$ ). Це означає, що вплив адсорбції на енергію яка в інтегральному балансі затрачуваної енергії на руйнування тіла мізерно мала й не може викликати помітної зміни

міцності. Імовірно, у цьому випадку, в області граничної концентрації енергії, тобто в зоні подолання сил міжатомних зв'язків під впливом квантових ефектів, що супроводжують процес руйнування, вихідне поверхнево-активне середовище перетворюється в радикально активну водневу плазму, електрично заряджені частки якої взаємодіючи з електрично активною структурою твердого тіла викличе зміну його фізико-механічних властивостей.

## СЕКЦІЯ 5

### НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МАШИНОБУДУВАННІ

#### НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ПОРИСТИХ ПРОНИКЛИВИХ МАТЕРІАЛІВ

##### LATEST TECHNOLOGY RECEIPT OF POROUS MATERIALS INSIGHTFUL

Наталія Гулієва, Людмила Самчук, Галина Герасимчук

*Луцький національний технічний університет,  
вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43018, Україна.*

*This paper deals with the latest manufacturing technology penetrating porous materials based on natural minerals also poshyryuvalnoho high-temperature synthesis (SHS).*

Для виготовлення конкурентоспроможних виробів новітні технології передбачають застосування матеріалів високої якості. Дані технології включають технологічні процеси виготовлення пористих проникливих матеріалів (ППМ). На термін експлуатації ППМ впливає хімічний склад матеріалів і методи їх виготовлення. Поширеними методами виготовлення ППМ є методи порошкової металургії. Однак існуючі в на сьогоднішній день методи отримання ППМ мають ряд недоліків: великі енерговитрати; велику собівартість та малу продуктивність. Перспективним методом сьогодення є метод самопоширювального високотемпературного синтезу (СВС), основоположниками якого є академік А. Г. Мержанов і І. П. Боровинська [1, 2]. Особливістю СВС – процесу є фізико-хімічна реакція, за допомогою якої в кінці технологічного процесу отримують матеріал з унікальними експлуатаційними властивостями.

У Луцькому НТУ вже багато років займаються дослідженнями ресурсозберігаючих технологій. Зокрема, широко застосовується метод СВС. Даний метод отримання ППМ має ряд переваг над традиційними: використання хімічної енергії замість електричної; зменшення технологічного циклу; простота устаткування (завдяки відсутності зовнішніх джерел тепла); низька вартість; екологічна безпечність; значна швидкість процесів, пов'язана із саморозігріванням хвилі горіння; можливість створення безперервних процесів, можливість динамічного варіювання структурними та іншими властивостями. Для виготовлення ППМ застосовували порошок титану марки ПТС-1 (ГОСТ 9722-79), алюмінію вторинний марки АПВ-90 (ТУ 48-5-152-78) та природні мінерали (сапоніт, цеоліт та ін.). Технологічний процес включав наступні операції: подрібнення, сушіння, просіювання, зважування, змішування, утрушування, пресування, СВС-спікання та охолодження.

Металографічні дослідження проводили на мікроскопі ММР-4. Зразки для металографічних досліджень готували за стандартною методикою. З метою отримання чіткого зображення структури зерен шліфів обробляли 4% розчином  $H_2SO_4$ .

Для визначення компонентного складу отриманих матеріалів, проводили рентгено-структурний аналіз. Дослідження проводили на рентгеноструктурному дифрактометрі загального призначення ДРОН-4-13 з використанням  $CuK\alpha$  променів.

Новітні технології застосування ППМ на основі природних мінералів методом СВС-процесу були впроваджені на підприємствах КП «Луцькводоканал», АТ «SKF – Україна», ПАО «Електротермометрія» та ін.

1. Мержанов А. Г., Мукасян А. С. Твердопламенное горение. – М.: ТОРУС ПРЕСС. 2007. – 336 с.
2. Borovinskaya I. P., Bunin V. A., Merzhanov A. G. Self-propagating high-temperature synthesis of high porous Boron nitride // *Mendelev Communications*. – 1997, V. 7, №2. – P. 47-15.

## КОНТАКТНІ ВЗАЄМОДІЇ НОВОУТВОРЕНОЇ ПОВЕРХНІ З НАВКОЛИШНІМ СЕРЕДОВИЩЕМ У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ

### CONTACT INTERACTION OF FRESHLY SURFACE TO THE ENVIRONMENT IN THE CUTTING

**В'ячеслав Ляшков, Валерій Петровський**

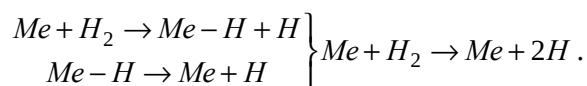
*Херсонський національний технічний університет,  
вул. І. Куліка, 130, м. Херсон, 73008, Україна.*

*Displaying contact surface interaction with the environment in the process of cutting. The reactions of the conversion of methane molecules into ions and atoms. Considered assumption continuous formation of a new surface during cutting and continuously flowing catalysis on the surface of the chemical elements to form protons and hydrogen atoms.*

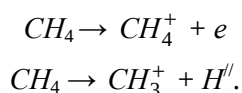
Відомо, що ювенільна поверхня, що знову утворюється в процесі різання, має специфічні властивості, які сприяють прискоренню, що протікають хімічних реакцій, тобто має каталітичні властивості.

Так, наприклад, на поверхні чистого металу, хемосорбція молекул водню, проходить із дисоціацією на атоми вже при температурі рідкого повітря – 188°C (у деяких випадках і при температурі скраплення водню – 253°C) протікає дуже швидко, практично без енергії активації.

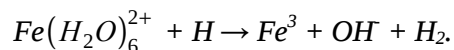
Здатність чистої поверхні генерувати в об'єм вільні атоми відома із часів ранніх робіт Ленгмюра, на основі яких був створено один з найпростіших методів одержання атомарного водню. Цей процес іде по двостадійній схемі:



Низькомолекулярні вуглецеводневі сполуки, що звичайно входять до складу СОТС, або фрагменти, що утворюються, макроланцюга в результаті піролізу полімерної складової СОТС на каталітично активній поверхні металу також дають атомарний водень. Наприклад, молекула метану  $CH_4$  спочатку перетворюється в молекулярний іон  $CH_4^+$ , а потім в іон мітила  $CH_3^+$  і радикал – атомарний водень:



Водневий атом може діяти як донор електрона ( $H \rightarrow H^+ + e^-$ ), а може брати участь у подальших хімічних реакціях, наприклад, відриваючи другий водневий атом з гідратної оболонки іона:



Іонізація водню на знову утвореній чистій поверхні може йти декількома шляхами й у граничних випадках закінчуватися утвором негативно зарядженого іона ( $H^-$ ) і позитивного протона ( $H^+$ ). Напрямок і ступінь іонізації атомів водню визначається характером силового поля металевих атомів, яка у свою чергу залежить від атомної структури металу й від зовнішніх умов системи. Якщо ж інтенсивність силового поля недостатня для повної іонізації водню до протона, то атом водню перебуває в стані порушення й часткової іонізації. Отже, безперервний утвір нової, ювенільної поверхні в процесі різання каталітичною активністю, що володіє високою, приводить до каталізу, що безупинно протікає, на цій поверхні хімічних елементів і сполук з газової фази з утвором протонів і атомів водню, а також вуглецю (у випадку ПЕ). Фактично утворюється низькотемпературна воднева плазма.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПОХИБОК ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ НА БАГАТОКООРДИНАТНИХ ВЕРСТАТАХ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИКИ

### DETERMINATION OF ERRORS IN HANDLING PARTS MULTI PARALLEL KINEMATICS MACHINE

Василь Струтинський, Оксана Юрчишин

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,  
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.*

*Causes and consequences of the occurrence of errors machining tools on a multi processing parallel kinematics. Applied experimental and theoretical methods for determining errors. A mathematical model, which is used to determine the error handling details. The analysis of errors in the processing of different types of surfaces. The peculiarities of error and their essential components.*

Верстати паралельної кінематики мають особливі функціональні можливості, пов'язані із наявністю шести і більше керованих координат. Тому вони використовуються для обробки складнопрофільних поверхонь. Особливо важливою задачею є прогнозування можливих похибок обробки таких поверхонь.

Багатокоординатні верстати паралельної кінематики характеризуються складними просторовими динамічними переміщеннями шпинделя. Для визначення динамічних похибок верстатів проведені спеціальні дослідження. Вони включають експериментальні виміри параметрів точності та теоретичні дослідження виконані шляхом математичного моделювання. Запропонована спрощена математична модель, яка визначає параметричні коливання обертового шпинделя. Модель основана на поданні виконавчого органу верстата із обертовим шпинделем у вигляді двомасової системи, яка здійснює поперечно-кутові коливання відносно двох взаємно-ортогональних вісей, розташованих в площині, перпендикулярній миттєвій вісі обертання виконавчого органу при його просторовому русі.

Розроблена математична модель використана для розрахунку переміщень, швидкостей та прискорень малих поперечно-кутових переміщень шпинделя багатокоординатного верстата паралельної кінематики. Одержані кінематичні параметри визначають точність обробки поверхонь на верстаті.

Шляхом математичного моделювання визначені загальні похибки обробки при обробці поверхонь різного виду. Розглянуті похибки обробки циліндричних поверхонь із різними кутами розташування вісі циліндричної поверхні. Для контролю загальної точності верстата визначена точність обробки пар плоско-паралельних поверхонь із різною орієнтацією площини. Загальна оцінка точності обробленої криволінійної поверхні проведена для характерних поверхонь другого порядку, зокрема еліпсоїда та гіперболічного параболоїда.

Встановлено, що похибки обробки мають різномірні складові, а саме похибки апроксимації поверхні при програмуванні, статичні похибки обумовлені деформаціями в пружній системі багатокоординатного верстата паралельної кінематики та динамічні похибки, обумовлені коливаннями в динамічній системі. Суттєвими складовими динамічних похибок є похибки, викликані впливом гіроскопічних моментів, які виникають при параметричних поперечно-кутових коливаннях виконавчого органу верстата із рухомим шпиндельним вузлом.

Проведені дослідження є основою розробки раціональних технологічних процесів обробки деталей на багатокоординатних верстатах паралельної кінематики.



## ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ РОТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ІЗ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК НА НАПРУЖЕНИЙ СТАН В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ

EVALUATING THE INFLUENCE OF ROTATIONAL DRAWING OF AXISYMMETRICAL PARTS, MADE FROM SHEET WORKPIECES, ON THE STRESS STATE IN THE DEFORMATION ZONE

**Євген Шевчук, Сергій Сухоруков, Іван Сивак**

*Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна.*

*Regularities of distribution of stress state indices in the deformation zone are determined depending on geometrical characteristics of the roller, thickness of the sheet workpiece and mechanical characteristics of the workpiece material.*

Особливість процесу ротаційної витяжки осесиметричних деталей із листових заготовок полягає в тому, що пластична деформація протікає в локальному об'ємі контакту інструмента і заготовки. Напружений стан в осередку деформації залежить від форми і розмірів заготовки і інструменту, взаємного їх розміщення і режимів обробки.

В даній роботі розглянуто процес ротаційної витяжки тонкої оболонки із листової заготовки. При цьому осередок деформації розбито на три ділянки. Ділянка 1 знаходиться в умовах об'ємного напруженого стану, а на ділянці 2 має місце плоска деформація. До зони 3 віднесено фланець, який знаходиться в умовах плоского напруженого стану. В роботі [1] визначено напружений стан для ділянки 2 в полярній системі координат  $\rho, \alpha$  з початком координат в центрі кривизни робочої поверхні ролика. У виділеному елементі заготовки, обмеженому радіусами  $\rho_1$  і  $\rho_2$ , та кутами  $\alpha=0$  і  $\alpha=\alpha_t$ , діють радіальні напруження  $\sigma_r$ , тангенціальні напруження  $\sigma_\alpha$  та дотичні напруження  $\tau_{r\alpha}$ . Різниця радіусів  $\rho_2$  і  $\rho_1$  дорівнює товщині листової заготовки  $\delta$ .

Для аналізу напруженого стану в зоні 2 осередку деформації розраховували значення показника напруженого стану  $\eta = 3\sigma/\sigma_u$  (де  $\sigma$  – середнє напруження,  $\sigma_u$  – інтенсивність напружень) та параметра Надаї-Лоде  $\mu_\sigma = (2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3)/(\sigma_1 - \sigma_3)$ . В роботі отримані залежності показника напруженого стану  $\eta$  і параметри Надаї-Лоде  $\mu_\sigma$  від радіуса  $\rho$  і кута  $\alpha$  ролика для листових заготовок товщиною  $\delta=0,8$  мм,  $\delta=1,0$  мм і  $\delta=1,2$  мм із алюмінію АДІ і сталі 10. Розрахунки виконані для радіусів робочої поверхні ролика  $R_{рол}=1,5$  мм і  $R_{рол}=4,0$  мм. Установлено, що показник  $\eta$  зростає із ростом радіуса  $\rho$  і зменшується із збільшенням кута  $\alpha$ . Параметр Надаї-Лоде  $\mu_\sigma$  зменшується із ростом  $\rho$  та зростає при збільшенні кута  $\alpha$ . Наприклад, при  $\delta=0,8$  мм,  $R_{рол}=1,5$  мм,  $\rho=1,5$  мм  $\eta$  зростає від  $\eta=-1,152$  до  $\eta=0,283$  при  $\alpha=60^\circ$ , а параметр Надаї-Лоде  $\mu_\sigma$  зменшується при тих же умовах від  $\mu_\sigma=0,939$  до  $\mu_\sigma=-0,239$ . Показник  $\eta$  зменшується від  $\eta=0,258$  до  $\eta=-1,152$  при зростанні  $\alpha$  від  $\alpha=30^\circ$  до  $\alpha=60^\circ$ , а  $\mu_\sigma$  при тих же умовах зростає від  $\mu_\sigma=-0,253$  до  $\mu_\sigma=0,939$  при  $\rho=1,5$  мм.

Установлено також, що з ростом товщини заготовки показник  $\eta$  зменшується, а параметр Надаї-Лоде зростає. При збільшенні радіуса робочої поверхні ролика показник  $\eta$  також зростає, а параметри Надаї-Лоде  $\mu_\sigma$  зменшується незалежно від товщини. Необхідно відмітити, що матеріал заготовки не впливає на характер розподілу показників  $\eta$  і  $\mu_\sigma$  в осередку деформації. Отримані результати свідчать про те, що інтенсивність накопичення пошкоджень в осередку деформації зростає із збільшенням радіуса робочої поверхні  $R_{рол}$  і товщини заготовки, при інших рівних умовах.

1. Дудка Д.В. Ротационное формоизменение конических деталей из анизотропных материалов / Д.В. Дудка, С.С. Яковлев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. - С. 3-11.

## СЕКЦІЯ 6

### ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ

#### ІНДУКЦІЙНИЙ НАГРІВ ЗВАРНИХ СТИКІВ ТОВСТОСТІННИХ ТРУБОПРОВІДНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВЕЛИКОГО ДІАМЕТРА

#### INDUCTION HEATING OF WELDED JUNCTIONS FOR THICK-WALLED PIPELINE CONSTRUCTIONS WITH BIG DIAMETER

Олександр Письменний, Ігор Пентегов, Сергій Римар, Олексій Письменний

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,  
вул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна.*

*Ecologically pure, adaptable to streamlined production and cost-effective way of induction heating of welded junctions for thick-walled pipeline constructions with big diameter is offered*

Після зварювання товстостінних сталевих труб великого діаметра у металі зварного шва й навколошовному металі виникають залишкові напруження, які можуть призвести до утворення тріщин у металі й викликати руйнування зварної конструкції трубопроводу. Особливо це відноситься до швів труб з легованих сталей.

Для усунення залишкових напружень і зменшення ймовірності руйнування зварної конструкції трубопроводу, після завершення процесу зварювання, необхідно виконати нормалізацію металу шва й навколошовного металу. Нормалізація здійснюється шляхом нагрівання металу в зоні зварного шва вище температури точки Кюрі, але не більше температури фазового переходу А4.

Зараз поширеним способом нормалізації металу зварного шва й навколошовного металу є спосіб контактного нагріву резисторними елементами – нагрівачами опору, у тому числі секційними. Даний спосіб дає хороший результат, але вимагає значних витрат часу для здійснення термообробки.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України розроблено новий спосіб нормалізації металу зварного шва й навколошовного металу товстостінних сталевих труб великого діаметра, що використовує індукційний нагрів труби струмами підвищеної частоти. Застосовується кільцевий індуктор, який охоплює трубу.

Запропонований спосіб дозволяє за кілька хвилин досягти заданої температури в металі, здійснити витримку нагріву протягом необхідного часу, і забезпечити, якщо це необхідно, на заданих інтервалах часу циклічність нагрівання й остигання, з дотриманням необхідної температури. Усе це здійснюється шляхом регулювання потужності височастотного промислового генератора, що живить індукційну установку.

Достоїнством індукційного нагріву є те, що йому властива мала інерційність подачі корисної потужності в зону нагріву труби. Це забезпечує можливість тонкого регулювання виділеною потужністю в цій зоні й можливість більш точного впливу на розподіл температури в ній. При цьому розподіл температури в зоні нагріву труби буде залежати тільки від теплофізичних параметрів матеріалу труби й оточуючого її середовища та від геометричних розмірів труби й індуктора.

До достоїнств індукційного нагріву можна також віднести його екологічну чистоту, технологічність і економічність.

Розроблений спосіб нормалізації зварних стиків товстостінних сталевих труб великого діаметра за допомогою індукційного нагріву може бути застосований при будівництві трубопроводних конструкцій і успішно конкурувати з іншими способами нагріву.

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ЗВАРЮВАННЯ-ПАЯННЯ ДВОШАРОВИХ ЗАГОТІВОК ТРУБОПРОВОДІВ ТА ПОСУДИН

### THE TECHNOLOGIES OF HIGH –FREQUENSE WELDINGBRAZING FOR BELAYER BLANKS PIPELINES AND PRESSURE VESSELS

Олексій Письменний, Руслан Губатюк, Олексій Прокоф'єв, Артем Шинкаренко

*Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України,  
бул. Боженка, 11, м. Київ, 03680, Україна.*

*In this work there are results in theoretical and experimental research of technology weldingbrazing bilayer shell for pressure vessels and section of the pipelines. The computational model of pressure vessels there are subjected to analysis of the stresses in bilayer shell.*

З метою зниження ваги і оптимізації конструкцій трубопроводів, а також посудин, які працюють під тиском, уявляється перспективним застосування двошарових оболонок для утворення загальної стінки. У ІЕЗ виконано розрахунок та аналіз розрахункової моделі трьох однотипних конструкцій посудин, які працюють під тиском (рис. 1), у яких загальну стінку виконано як двошарову оболонку.

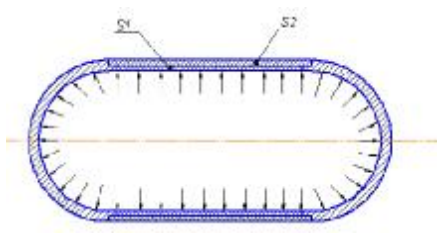


Рис.1

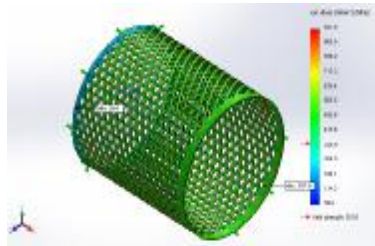


Рис.2

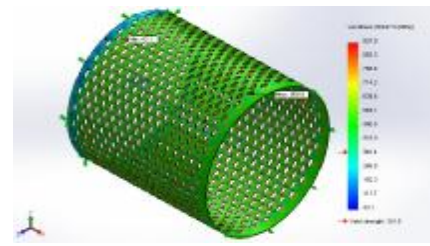


Рис.3

При цьому здійснено аналіз для усіх трьох посудин щодо співвідношення показників міцності застосованих матеріалів при виготовленні внутрішньої та зовнішньої оболонки які утворюють їхню загальну двошарову стінку. Встановлено, що застосування у двошаровій конструкції однієї і той же самої марки сталі не веде до ефективного навантаження загальної стінки. Застосування при виготовленні зовнішньої оболонки матеріалу із більш високими показниками міцності призводить до зменшення її товщини і відповідно до зростання її внутрішніх напружень, то б то до раціонального навантаження, що у підсумку веде до зменшення загальної стінки посудини. Розглянуто можливість застосування для виготовлення зовнішньої оболонки мереже-подібного матеріалу (рис.2, і рис.3), а також спосіб застосування височастотного зварювання-паяння під тиском що до виготовлення перспективних трубних заготівок для трубопроводів і циліндричних корпусів посудин, які працюють під тиском, а також застосування даної технології як ремонтної.

## СЕКЦІЯ 7

### ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙ У ТЕХНІЦІ І ТЕХНОЛОГІЯХ

#### ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОМАШИНИ ВИКІНЧУВАЛЬНОЇ ДОВОДКИ

#### STUDY OF PARAMETERS OF VIBRATION DEVELOPMENT MACHINE TOOLS

Олександр Гаврильченко<sup>1</sup>, Віктор Захаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>ПАТ «Іскра»,  
вул. Вулицька, 14, м. Львів, 79066, Україна.

*Parameters of vibration development machine tools are studied in this paper.*

Використання плоско-паралельної доводки на вібровикінчувальних верстатах з круговими коливаннями притирів дозволяє досягти високої точності форми та якості оброблювальних поверхонь деталей, отримання шорсткості поверхні від 0,04 до 0,02 мкм з відхиленням площинності від 0,1 до 0,01 мкм., ця задача вимагає розроблення та модернізації існуючих конструкцій викінчувальних верстатів з застосуванням енергоощадних і ефективних способів обробки деталей та правки робочих поверхонь притирів.

Головними зовнішніми факторами при викінчувальній обробці є швидкість руху притирів з деталями та величина тиску на поверхню деталей, що обробляється. Швидкість руху притирів з деталями та питомий тиск на поверхні деталей визначають енергетичні витрати викінчувального обладнання, пов'язані з зношуванням матеріалів притирів та деталей.

Особливістю вібровикінчувальних верстатів з круговими траєкторіями коливань притирів є те, що швидкості переміщення всіх точок робочої поверхні є однаковими, тому зношування, як робочої поверхні притирів, так і деталей, може залежати тільки від часу їх контакту.

Висвітленню питань обробки деталей на вібровикінчувальних верстатах присвячений ряд робіт, в яких розглядаються питання підвищення точності та ефективності процесу притирання, забезпечення рівномірного зношування робочих поверхонь деталей і притирів та розробка різноманітних сучасних конструкцій і технологічних процесів, які застосовуються при абразивній обробці. У даній роботі поставлена задача вирішується розробленням тримасового вібровикінчувального верстату з синфазним рухом коливних мас. Два притири становлять дві робочі маси, а електромагнітний віброзбудник встановлено між нижнім притиром (другою масою) та проміжною масою (третьою масою).

Перевагами такої запропонованої конструкції є: спрощення складної вертикальної пружної системи до одного пружного стрижня, зменшення впливу амплітуд коливань притирів на величину повітряного проміжку між якорями та осередками з котушками електромагнітного віброзбудника, підвищення ККД електромагнітного віброзбудника.

Крім переваг така конструкція має недоліки: жорстке кріплення кінців пружного стрижня приводить до його закручування, в наслідок чого виникає нестабільність викінчувального процесу, неможливість проведення правки притир по притиру, не забезпечується переміщення водила з деталями відносно осі верстату, відсутній механізм регулювання величини питомого тиску на поверхню деталей, що обробляються.

Для удосконалення розглянутої тримасової конструкції було запропоновано кріплення двох кінців пружного стрижня здійснювати через підшипникові вузли, що дозволило усунути нестабільність викінчувального процесу та інші наведені недоліки.

Для дослідження динаміки такої конструкції вібровикінчувального верстату була розроблена модель, особливістю якої є врахування коефіцієнта дисипації, що дозволило підвищити точність моделі та здійснювати за вихідними параметрами розрахунок мас коливної системи, жорсткість пружних елементів, коефіцієнту резонансного налагодження, параметрів віброзбудника тощо.

## ОПТИМАЛЬНИЙ СИНТЕЗ УМОВ ЗБУРЕННЯ ДВОЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН

### OPTIMAL SYNTHESIS OF TERMS OF INDIGNATION OF TWOFREQUENCY RESONANCE VIBRATORY MACHINES

Володимир Гурський, Ярослав Шпак

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*Certainly optimum terms of independent indignation by electromagnetic vibroexciters for achievement of rational kinematics parameters of process of vibratory compression.*

В практиці створення негабаритних резонансних вібраційних машин чільне місце належить системам з електромагнітним приводом. Типові одночастотні машини мають обмежене технологічне використання. Більш технологічно ефективними є двочастотні машини, що можуть бути реалізовані на базі тримасових систем із цільовим використанням двочастотного резонансного режиму. Особливий інтерес має задача, покликана на реалізацію раціональних з точки зору технології оброблення заданого технологічного двочастотного режиму роботи та досягнення відповідних кінематичних параметрів (гармонік пришвидшення):

$$A_{21}(n_1, n_2, k_{U1}, k_{U2}, \varphi) \equiv A_{21}^*; A_{22}(n_1, n_2, k_{U1}, k_{U2}, \varphi) \equiv A_{22}^*,$$

де  $A_{21}^*$ ,  $A_{22}^*$  – технологічні значення гармонік пришвидшення робочої маси,  $k_{U1}, k_{U2}$  – коефіцієнти напруги живлення для реактивної та імпульсної схем живлення відносно номінального значення,  $\varphi$  – зсув фаз між схемами живлення електромагнітів. Критерієм оптимальних параметрів збурення прийнято мінімальне значення середньоквадратичного відхилення  $\Delta_A$ , отриманих в процесі чисельного розв'язку дійсних значень гармонік пришвидшення робочої маси  $A_{21}$  та  $A_{22}$  від заданих  $A_{21}^*$  і  $A_{22}^*$ . При цьому, маючи гарантію, що за відомих параметрів електромагнітного привода та прийнятого числа ввімкнених однократно  $n_1^*$  та реактивно  $n_2^*$  електромагнітів, в межах прийнятих меж зміни параметрів оптимізації будуть досягнуті відповідні технологічні показники, задачу можна звести до меншого числа шуканих змінних:

$$\Delta_A(k_{U1}, k_{U2}, \varphi) = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \left[ \sum_{i=1}^n [A_{21}(k_{U1}, k_{U2}, \varphi) - A_{21}^*]^2 + \sum_{i=1}^n [A_{22}(k_{U1}, k_{U2}, \varphi) - A_{22}^*]^2 \right]} \Rightarrow \min,$$

( $n$  – к-сть інтервалів зміни параметрів) за групи обмежень, що відображають раціональні характеристики пришвидшення гармонік робочої маси та межі зміни варійованих параметрів

$$\left. \begin{aligned} A_{21}(k_{U1}, k_{U2}, \varphi) - 14,72 &= 0; \quad A_{22}(k_{U1}, k_{U2}, \varphi) - 39,24 = 0; \\ 0 < k_{U1} &\leq 1; \quad 0 < k_{U2} \leq 1; \quad 0 \leq \varphi \leq 120^\circ. \end{aligned} \right\}.$$

Для прикладу, за відповідних характеристик електромагнітного привода розв'язано задачу пошуку оптимальних умов збурення для реалізації процесу віброущільнення двочастотною (тримасовою) вібраційною системою. Розв'язується система нелінійних рівнянь чисельно за методом Левенберга-Маркарта в два етапи. Для цього, ввівши попередньо залежність для змінних  $k_{U1}(\varphi)$  та  $k_{U2}(\varphi)$ , за розв'язком задачі отримуємо для вектору  $\varphi = [0, 10^\circ \text{ К } 120^\circ]^T$  значення  $k_{U1}(\varphi)$  та  $k_{U2}(\varphi)$ , що забезпечують дійсні значення гармонік пришвидшення в околі накладених обмежень. В

другому етапі вирішується оптимізаційна задача за однією змінною  $\Delta_A(\varphi) \Rightarrow \min$  з наступним встановленням оптимальних умов –  $k_{U1}, k_{U2}, \varphi$ .

## ВІБРОЗБУДЖУВАЧІ ГІДРОІМПУЛЬСНОГО ПРИВОДУ З ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМИ КЛАПАНАМИ

### VIBRATION EXCITERS HIDROIMPULSIVE DRIVE WITH SOLENOID VALVES

Ростислав Іскович-Лотоцький, Вадим Міськов

Вінницький національний технічний університет,  
вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна.

*Widespread use of modern vibrotechnology needs improvement and development of well-known ways to create vibrations. One way is to use electrohydraulic valves hydroimpulsive drive that due to the unified equipment will expand the range of operating parameters of the process equipment, simplify debugging and enable its use in an automatic mode.*

Технологічні процеси з використанням корисних вібрацій (вібротехнології) набувають все більшого використання, що дозволяє підвищити їх ефективність та інтенсивність технологічних процесів. Можливості вібраційного обладнання залежать від типу приводу, а саме механічного, гідравлічного, пневматичного, електричного та комбінованого. Найбільшого поширення набули механічні та гідравлічні приводи за рахунок простоти конструкції та досить високих створюваних зусиль на виконавчій ланці. На сучасному етапі розвитку виробництва широкого застосування набувають електрогідравлічні приводи, що пов'язано з швидкими темпами розвитку комп'ютерних технологій. Використання електромагнітних віброзбуджувачів з комп'ютерним обладнанням у гідроімпульсному приводі дозволяє спростити процес налагодження та керування роботи устаткування на значній відстані. Простота експлуатації та незначні габарити гідроімпульсного приводу з електромагнітними віброзбуджувачами зможуть замінити важко налагоджувальні гідравлічні приводи.

Використовуючи однакову номенклатуру електромагнітних клапанів у гідроімпульсному приводі, змінюючи лише схеми встановлення, на виході рис. 1а та на вході рис. 1б, можливо отримати різні типи навантажень у виконавчому циліндрі - пульсуючий рис. 1в та імпульсний рис. 1г. Використання уніфікованого обладнання спростить ремонт та виготовлення приводів даного типу, що зробить їх доступними.

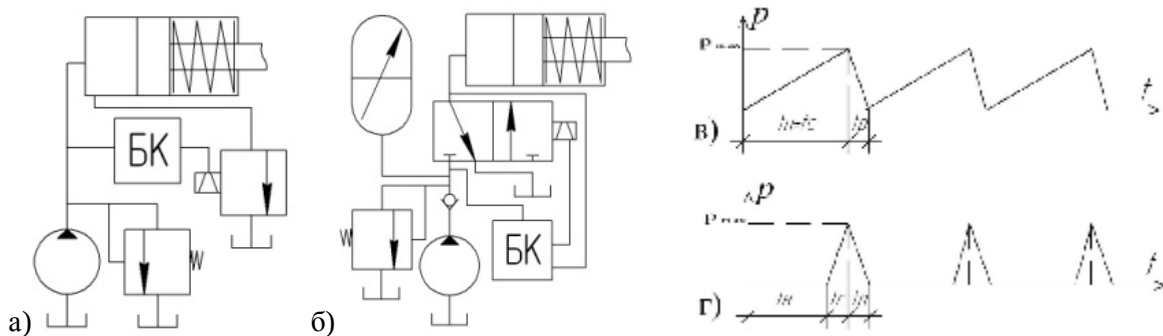


Рис. 1 Схеми встановлення та графіки навантаження гідроімпульсного приводу з використанням електромагнітних клапанів: де БК – блок керування,  $t_n$  – час набору рідини у виконавчому циліндрі,  $t_c$  – час подачі рідини у виконавчий циліндр,  $t_p$  – час витікання рідини з виконавчого циліндра.

Саме тому дослідження роботи та вплив на виконавчу ланку електромагнітних клапанів в якості віброзбуджувача у гідроімпульсному приводі є перспективним та цікавим напрямком наукових та інженерних досліджень.

## ВПЛИВ ХАРАКТЕРУ ВІБРАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СЕПАРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ БУРОВОЇ НАСОСНО-ЦИРКУЛЯЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

### INFLUENCE OF VIBRATION ON THE EFFICIENCY OF SEPARATION EQUIPMENT OF THE DRILLING PUMP CIRCULATION SYSTEM

Михайло Лях<sup>1</sup>, Неля Федоляк<sup>1</sup>, Олександр Ващаєв<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.

*The results of studies of the impact of different nature vibration vibrating working part on the quality of cleaning mud from breed. This was seen mud with different physical properties, as well as solid particles of different species. The results allow choosing rational modes sieves to separate certain drilling fluids from solids.*

До сепараційного обладнання бурової насосно-циркуляційної системи відносять вібросита, гідроциклони, центрифуги, дегазатори, і сепаратори попередньої дегазації бурового розчину. Від якості очищення бурового розчину від твердої фази (вибуреної породи) будуть залежати тривалість безвідмовної роботи обладнання, яке піддається гідроабразивному та абразивному зносу, а також інші техніко-економічні показники процесу буріння нафтогазових свердловин.

В даній роботі основна увага зосереджена на вібросита, що використовуються для сепарації твердої фази від бурового розчину. Вібросита існують різних конструктивних виконань з можливістю регулювання параметрів і режимів в різних межах.

Проаналізовані результати досліджень впливу різного характеру вібрацій робочої частини вібросита на якість очищення бурового розчину від вибуреної породи. При цьому розглядався буровий розчин з різними фізичними властивостями, а також тверді частинки різноманітних порід. Отримані результати дозволяють вибрати раціональні режими роботи вібросит для відділення твердої фази від бурових розчинів з певними властивостями. Це дасть можливість забезпечити ефективний робочий режим вібросит, що дозволить просепарувати необхідну кількість бурового розчину з мінімальними втратами його (відділена тверда фракція майже суха), а також збільшити термін служби сіткових полотен за рахунок такого характеру вібрації, коли неочищений буровий розчин розподілиться по всій робочій поверхні ситової панелі. В даному випадку необхідно також забезпечити мінімальне випаровування бурового розчину, який є в ряді випадків шкідливим для здоров'я обслуговуючого персоналу.

На основі досліджень роботи вібросита можна стверджувати, що на ефективність очищення бурового розчину високий вплив матимуть:

- ефективність розсіювання сепарованого бурового розчину на ситополотні;
- встановлення оптимальних режимів роботи вібросита на різних бурових розчинах;
- динамічні навантаження на основу (повинні бути мінімальними для підвищення його довговічності);
- можливість автоматичного регулювання сили вібрації віброполотна, зміни характеру вібрації, що дасть змогу регулювати продуктивність вібросита;
- забезпечення високого ступеня ремонтпридатності та надійності;
- герметичність робочої площини для попередження потрапляння отруйних речовин в навколишнє середовище);
- висока енергоефективність та можливість роботи в безперервному режимі.

Врахування даних параметрів при проектуванні чи модернізації вібросита дозволить підвищити ефективність очистки бурового розчину та знизить собівартість спорудження свердловини.

# МЕХАНІЧНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КРУТИЛЬНОЇ ВІБРАЦІЇ В РОЛИКОВИХ ТА ПАСОВИХ ЦЕНТРИФУГАХ

## MECHANICAL REALIZATION OF TORSIONAL VIBRATION IN THE ROLL AND BELT CENTRIFUGES

Володимир Щурик, Леонід Серілко, Георгій Багнюк

Національний університет водного господарства та природокористування,  
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна.

*An effective mechanism for intensification of process centrifugal forming of the tube concrete products.*

Центрифугування є одним із найбільш поширених способів формування (розподілу та ущільнення) бетонної суміші при виготовленні бетонних і залізобетонних трубчастих виробів. Для інтенсифікації процесу формування й покращення якості сформованих виробів є доцільним використання крутильних коливань (вібрації) форми-опалубки [1], - з міркувань забезпечення оптимальних для стадії розподілу переважаючих зсувних напружень і, відповідно, деформацій. Крім того, така вібрація сприяє розрідженню бетонної суміші, яка за технологією спочатку є досить жорсткою. Існуючі пристрої, зокрема [2], для реалізації такого впливу на бетонну суміш, що розподіляється у формі-опалубці до набуття потрібної геометрії, передбачають кріплення до останньої так званої планшайби.

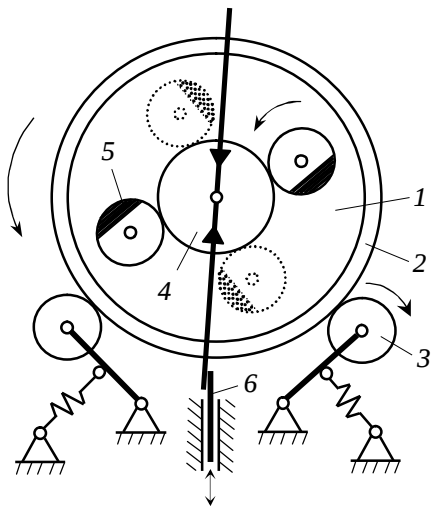


Рис. 1. Принципова схема центрифуги

Вона містить в собі віброзбудники переважно дебалансного типу, які приводяться в рух при допомозі окремого приводу або ж мають вбудований електропривод із зовнішнім живленням. Однак при пружному підвищенні форми-опалубки такі пристрої будуть досить складними, важкими і ненадійними, а отже незастосовними.

Пропонується ефективна конструкція планшайби (рис. 1), що усуває згадані недоліки: є простою, легко керованою і використовує наявний у центрифугі привод. Планшайба 1 жорстко прикріплена до форми-опалубки 2 (яка приводиться в рух ведучими опорними роликками 3) і містить зубчасте колесо 4 (із радіально закріпленими на ньому важелями) та одну або більше пару осесиметричних коліс-дебалансів 5, що перебувають у зачепленні з колесом 4 та взаємно зорієнтовані таким чином, як показано на рис. 1.

На стадії розподілу бетонної суміші дебаланси приводяться в обертальний, відносно форми-опалубки, рух при допомозі зупиненого колеса 4. Останнє зупиняють, а на стадії ущільнення суміші - звільняють, керованим висувним штоком 6.

1. Щурик В.О. Про вплив жорсткісних, демпфуючих та інерційних характеристик підвіски центрифуги на процес розподілу бетонної суміші при центрифугуванні. Вісник НУВГП. Вип. 2(30). - Рівне, 2005. - С. 138-145. 2. А.с. 1386471 СССР, МКИ В28В 21/34, 1988. Установка для формования тел вращения из бетонных смесей центрифугированием. А.П. Тойтин, В.К. Синяков, Н.Е. Дядченко и В.Г.Ефремов. - № 4042642/29-33. Заявл. 24.03.86. - 4 с.



## СЕКЦІЯ 8

### МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ

#### ДЕЯКІ ПРОБЛЕМНІ АСПЕКТИ ДІАГНОСТУВАННЯ ЗГИНІВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

#### SOME PROBLEM ASPECTS OF DIAGNOSIS OF THE HIGH TEMPERATURE PIPELINES OF THERMAL POWER PLANTS

Олександр Балицький<sup>1</sup>, Ігор Ріпей<sup>2</sup>, Василь Гарда<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;

<sup>2</sup>ВП «Галремеренерго» ПАТ ДТЕК Західенерго»,  
вул. Козельницька, 7, м. Львів, 79026, Україна.

*A review of the high temperature pipelines status of thermal power plants made of heat-resistant steels essential for Energy is presented. Present status equipment and criteria which determine the suitability of pipeline for further work are summarized. The parameters considered include accumulated damage during operation, total residual deformation and creep speed. Special attention is given to metallographic control method that is used to assess microdamage accumulation.*

Високотемпературні трубопроводи теплових електростанцій виготовлено з теплостійких сталей (12X1МФ та 15X1М1Ф), які повинні забезпечувати їх надійну експлуатацію за високих температурно-силових умов ( $T=545^{\circ}\text{C}$ ,  $p=10,0\ldots 22,0$  МПа) протягом визначеного терміну. Залежно від типорозміру та параметрів роботи ресурс надійної роботи трубопроводів становить 200...250 тис. год. Переважна більшість паропроводів відпрацювала визначений термін і потребує експертного обстеження.

Досвід експлуатації та пошкодження паропроводів свідчать про те, що згини є найменш надійними їх складовими. Це зумовлено як конструкційно-технологічними особливостями виготовлення, так і динамікою змін структури та властивостей, експлуатаційним впливом на геометричні розміри, перерозподіл напружень тощо. Відповідно парковий ресурс згинів паропроводів становить 75,0...87,5% від ресурсу прямих труб і зварних з'єднань.

Робочі напруження від тиску середовища, що виникають у згинах паропроводів є розтягувальними, їх називають приведеними. Напруження, зумовлені вагою конструкції, тепловими переміщеннями, є змінними і мають характер згину та скруту, змінюють свою величину, а інколи і знак, виникають насамперед під час пусків-зупинок. Ці напруження зумовлені зовнішніми навантаженнями, їх називають еквівалентними. Надійна експлуатація згинів паропроводів забезпечується за дотримання умови, згідно з якою, сумарна величина всіх робочих напружень – приведених і еквівалентних не перевищує допустимого значення для даної марки сталі та температури робочого середовища.

Виявлено, що більшість параметрів, які застосовують у енергетиці для оцінки стану металу паропроводів і згинів зокрема, є макроскопічними або інтегральними. Серед них допустимі рівні механічних характеристик та твердості, залишкової деформації та швидкості повзучості, овальність.

Критеріями, за яким насамперед визначають придатність паропроводів до подальшої роботи, є нагромаджена під час експлуатації пошкодженість, сумарна залишкова деформація та швидкість повзучості, які інтегрально відтворюють зміни в металі протягом його експлуатації. Водночас інколи експертиза металу паропроводів з використанням оптичного мікроскопу не виявляє скупчень пор

навіть поблизу зламів, отриманих внаслідок експлуатаційних пошкоджень. У цьому випадку елементи паропроводів можуть руйнуватися без видимих ознак відчутної деформації і їх залишкова деформація є значно меншою за нормований критичний рівень.

Виявлено, що металографічний метод контролю мікропошкоджуваності згинів доцільно використовувати з аналізом фактичного розподілу напружень, що дає змогу визначати локальну ділянку з максимальним рівнем мікропошкоджуваності, оскільки ділянка підвищених напружень у згинах може бути досить протяжною.

## ВИЗНАЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ ПРИ НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТІВ

### DETERMINATION OF DURABILITY WELDS HEADER PIPES IF DEFECT

Андрій Дзюбик, Володимир Палаш

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*A mathematical model for determining the durability of welded joints of pipelines, taking into account operational loads and performance field welding residual stresses. The numerical analysis for pipeline steel strength class H60. The influence of residual stresses on the durability of the pipeline as a whole. Is shown that such stress reduces the durability of the material.*

Сучасний стан трубопровідного транспорту характеризується високою зношеністю його конструктивних елементів. Тривалий час їх експлуатації та порушення умов захисту призводить до виникнення поверхневих дефектів не лише на відкритих надземних ділянках, а й лінійної частини трубопроводів, яка заглиблена в ґрунт. Тому важливим є застосування методик, які дають змогу врахувати вплив різноманітних факторів та оцінити міцність і довговічність матеріалу. Це дає змогу зменшити обсяги ремонтно-відновлювальних робіт та відтермінувати виведення із експлуатації трубопроводів.

Одним із невід'ємних елементом магістральних трубопроводів є їх зварні з'єднання. Вони застосовуються не лише на стадії спорудження, а також при виготовленні труб. При цьому наявність термічного циклу зварювання, застосування високоміцних легованих сталей, виникнення складного напруженого стану зумовлюють ряд характерних змін. Вони відбуваються в локальному, по відношенню до геометричних розмірів труб, об'ємі та впливають на структурно-фазовий склад, напружено-деформований стан та схильність матеріалу до утворення та розвитку тріщин.

Для дослідження довговічності зварних з'єднань труб нами застосовувалася математична модель для визначення швидкості росту тріщини втомі під дією циклічного навантаження з урахуванням ефективного розмаху коефіцієнта інтенсивності напружень. Характеристики циклічної тріщиностійкості для конкретного матеріалу трубої сталі та її зварного з'єднання визначалися експериментально на основі випробувань зразків з крайовою тріщиною у зварному шві. Отримані значення підставлялися у розрахункові рівняння і для конкретних геометричних розмірів труби з півеліптичною тріщиною розраховується шуканий відтинок часу (зокрема кількість циклів) від вихідного стану дефекту до умов, коли статична міцність не задовільняється.

Проведено чисельний аналіз для трубопроводу (діаметр 1220 мм, товщина стінки 18 мм) із сталі класу міцності Х60. Досліджено вплив залишкових напружень на довговічність трубопроводу загалом. Для цього у виразі для обчислення коефіцієнта асиметрії введено коефіцієнт впливу, що характеризує відношення величини усереднених по поверхні тріщини кільцевих залишкових напружень до максимальних значень, зумовлених внутрішнім тиском.

Встановлено, що врахування залишкових зварювальних напружень знижує прогнозовану довговічність матеріалу. Зокрема, при збільшенні величини введеного коефіцієнту впливу залишкових зварювальних напружень кількість циклів за яких досягається критична глибина тріщини, зменшується. На відстанях, коли впливом залишкових напружень можна знехтувати, визначальними є зміна величини та характеру тиску транспортованого продукту.

## МІЦНІСТЬ НАДЗЕМНИХ БАГАТОПРОГОННИХ ПЕРЕХОДІВ ТРУБОПРОВОДІВ З ВРАХУВАННЯМ ПРУЖНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ОПОР

### STRENGTH OF MANY ABOVEGROUND SPAN TRANSITIONS PIPELINES SUBJECT ELASTIC DEFORMATION TOWER

Андрій Дзюбик, Людмила Дзюбик

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*A mathematical model of the pipeline as much span beams on elastic supports. A extreme support to consolidate the soil, taking into account compliance with strict jamming. A corresponding calculation for rejecting the towers from the projected value. Established that for extreme supports maximum values can be observed in the soil.*

На експлуатаційні характеристики надземних багатопрогонних переходів магістральних трубопроводів, через штучні та природні перешкоди, впливає ряд факторів, зокрема експлуатаційні навантаження від внутрішнього тиску та маси транспортованого продукту, а також зовнішні впливи. Останні зумовлені не лише дією навколишнього середовища безпосередньо на трубу, а також просторовим розташуванням трубопроводу на опорах та його взаємодією із прилягаючими ділянками ґрунту. Ці фактори зумовлюють складний напружено-деформований стан конструкції, що визначає її міцність та довговічність.

При цьому сумарна податливість проміжних опор може бути достатньо суттєвою в залежності від їх конструктивного виконання. Зумовлено це наявністю значної кількості окремих елементів: різноманітні спеціальні ізоляційні матеріали, рухомі з'єднання, оголовки опор, фундаменти тощо. Окремо слід виділити податливість ґрунтів, яка в гірських умовах часто може змінюватися від дії зовнішніх чинників (зсуви ґрунту, повені і т.д.). Крайні опори, що забезпечують взаємодію труби з ґрунтом, переважно виконують з допомогою спеціальних підкладних матеріалів.

Складність вирішення проблеми полягає в недостатньому компенсуванні вертикальних зміщень опор на величини протилежні за знаком, за результатами технічного діагностування, без врахування їх пружних деформацій. Це зумовлює зміну реакцій та перерозподіл згинних моментів щонайменше у двох сусідніх прогонах без отримання бажаного результату.

Для розрахунку трубопроводу використовувалася математична модель, яка передбачала його представлення у вигляді нерозрізної багатоопорної балка змінного перерізу, що встановлена на пружних опорах з можливістю вертикального регулювання. Для визначення невідомих переміщень, моментів та реакцій опор використано систему лінійних алгебраїчних рівнянь, яка отримана з умов рівності прогину балки пружному переміщенню опор та умов зрівноваженості перерізуючих сил і моментів. Відомо, що при невеликих поперечних переміщеннях трубопроводу на суміжних з надземним переходом підземних ділянках їх можна вважати напівнескінченими балками на пружній основі.

Встановлено, що в результаті пружної взаємодії ґрунту та труби спостерігається зменшення навантаження по її краях та відповідне його зростання на сусідніх проміжних опорах. Така зміна є пропорційною до зменшення коефіцієнту постелі ґрунту. Також зростають переміщення крайніх опор та відбувається перерозподіл згинальних моментів. Аналогічні результати отримано при розв'язанні тестової задачі, а також на підставі експериментальних вимірювань величини реакції проміжних опор в польових умовах.

## ВИЗНАЧЕННЯ КАТЕГОРІЙНОСТІ ДІЛЯНОК ТРУБ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВНУТРІШНЬОТРУБНОЇ ДІАГНОСТИКИ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

### USING RESULTS OF INTERNAL PIPELINE DIAGNOSTICS TO CATEGORISE THEIR DEFECTED SECTIONS

Андрій Кичма<sup>1</sup>, Роман Савула<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Філія УМГ «Львівтрансгаз»,  
вул. Рубчака, 3, м. Львів, 79026, Україна.

*This paper discusses some aspects of estimation of remaining strength of defected metal pipes based on the results of internal pipeline diagnostics by taking into account operation degradation of the pipe's materials. It also presents developed algorithms and software that determines safety margin in the pipeline segment with semi-elliptical cracks.*

Згідно нормативних вимог оцінка технічного стану магістральних газопроводів (МГ), які експлуатуються більше 20 років повинна проводитись за результатами внутрішньотрубної діагностики [1]. В останні роки в Україні широко застосовують внутрішньотрубну діагностику МГ, за результатами якої виявляють ділянки зі зменшеною товщиною стінки труб, корозійними і тріщино подібними дефектами. Статистичні дані показують, що прямі кошти на ліквідацію наслідків одного стрес-корозійного руйнування газопроводу зовнішнім діаметром 1020-1420 мм становлять 1,5 млн. доларів. Ремонт чи заміна ж одного погонного метра пошкодженої стрес-корозією ділянки газопроводу таких же діаметрів коштує 3000-5000 доларів.

У мережі газотранспортної системи ДК «Укртрансгаз» внутрішньотрубну дефектоскопію переважно проводять, використовуючи інтелектуальні поршні фірми «H.Rosen Engineering GmbH». Результати обстежень проведені інтелектуальним поршнем, подаються фірмою «H.Rosen Engineering GmbH» у вигляді зменшення початкової товщини стінки труби і геометричних неоднорідностей з певним кроком вздовж осі газопроводу. Подальше експертне оцінювання та аналіз дефектів металу труб проводиться після досконалого огляду місця пошкодження у шурфі з проведенням товщинометрії, твердометрії, ультразвукової дефектоскопії, а при необхідності і рентгеноскопії.

Для оцінки ресурсу безпечної роботи трубопроводів використовуємо методику схематизації виявлених дефектів дефектами канонічної форми, яку зручно описувати у відповідних математичних моделях. Для гострокінцевих дефектів це - переважно півеліптичні тріщини. Оцінку статичної міцності таких ділянок МГ проводимо з використанням двопараметричного критерію крихко-в'язкого руйнування, згідно якого побудована діаграма оцінки руйнування (ДОР або FAD) [2,3].

На основі вищеописаного підходу розроблено алгоритм і програмне забезпечення для визначення коефіцієнту запасу міцності ділянок трубопроводів з дефектами і встановлення їх категорійності з врахуванням деградації металу труб і їх зварних з'єднань, зміни напружено-деформованого стану від температурних деформацій і залишкових технологічних напружень. Це в свою чергу дозволяє спланувати черговість і об'єми виконання ремонтних робіт або визначитись з безпечними режимами експлуатації даної ділянки МГ з виявленими дефектами.

1. «Галузева система діагностичного обслуговування магістральних газопроводів». – ДК "Укртрансгаз", Київ, 2002. – 175 с. 2. ДСТУ-Н Б В.2.3-21:2008 Національний стандарт України. Настанови. Визначення залишкової міцності магістральних трубопроводів з дефектами. – К.: Мінрегіонбуд України, 2008. – 88 с. 3. API 579. Fitness-For-Service, API Recommended Practice 579. – First Edition. – American Petroleum Institute, 2000. – 625 p.

## МЕТОДИКА ЛОКАЦІЇ ДЖЕРЕЛ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ В ТОНКОСТІННИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

AE SOURCE LOCATION IN CYLINDRICAL OBJECTS

Свєген Почапський, Богдан Клим, Олександр Сімакович

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

*A method for location AE sources in cylindrical shell has been developed. Suggested method allows us to reduce calculations and simplify algorithm. The solution has been checked by computer modelling. Minimum number of AE sensors needed for location source was found. The method approved by virtual and physical experiments.*

Застосування методу акустичної емісії (АЕ) досить поширене для моніторингу зародження і розвитку дефектів в елементах конструкцій, що дозволяє запобігати їх передчасному катастрофічному руйнуванню. Однією з найважливіших складових методик технічного АЕ діагностування є визначення координат місця руйнування, оскільки це дозволяє сконцентрувати обстеження на малій ділянці і тим самим збільшити його достовірність. Локацію здійснюють за допомогою акустичної антени первинних перетворювачів, вимірюючи значення різниці часу приходу (РЧП) пружної хвилі АЕ на кожен із них. Кількість первинних перетворювачів АЕ (ПАЕ), необхідних для цього, залежить від геометрії та розмірів об'єкту контролю, але, як правило, акустична антена містить не менше чотирьох ПАЕ.

Мета досліджень: розроблення методики локації джерела АЕ в тонкостінному об'єкті контролю циліндричної форми незалежно від геометрії та розташування п'єзоантени, а також визначення мінімальної кількості ПАЕ, необхідної для однозначного знаходження координат.

Вхідні дані: параметри об'єкта (розміри, тип матеріалу); тривимірні координати елементів акустичної антени, що розміщені на поверхні досліджуваного зразка; різниці часів приходу хвилі АЕ від джерела до кожного ПАЕ.

Отриманий розв'язок системи рівнянь, що відповідає задачі знаходження координат джерел АЕ за даними трьох ПАЕ, з врахуванням всіх можливих випадків розташування перетворювачів АЕ на поверхні об'єкта контролю, включаючи виродження. На підставі розв'язку математичної задачі побудована відповідна методика знаходження координат джерел АЕ в тонкостінних об'єктах циліндричної форми.

Визначена мінімальна кількість перетворювачів АЕ, необхідних для однозначної локації джерела АЕ. Запропоновано спосіб спрощення алгоритму і зменшення кількості обчислювальних операцій. Обчислювальна процедура розгалужується на прості гілки, які можуть бути легко розпаралелені для зменшення обчислювальних затрат і більш ефективного використання наявних ресурсів інформаційно-вимірювальної АЕ-системи.

Проведено машинне моделювання процесу локації джерел АЕ із застосуванням розробленої методики на персональному комп'ютері. Розглянуто можливі випадки розміщення ПАЕ та джерел АЕ на поверхні циліндра. Обчислена максимальна похибка визначення координат.

Розроблені теоретичні положення були підтверджені також результатами експериментальних випробувань на циліндричному об'єкті в лабораторних умовах. Для перевірки використовували ненавантажений внутрішнім тиском зразок. Вимірювання здійснювали портативною восьмиканальною вимірювальною АЕ-системою SKOP-8М із використанням квазірезонансних ПАЕ. Пружну хвилю АЕ збуджували за допомогою джерела ГСУ. Отримана похибка визначення координат не перевищує допустимої, яка встановлена у відповідних нормативних документах.

## **ОЦІНЮВАННЯ СИГНАЛІВ МАГНЕТОПРУЖНОЇ АКУСТИЧНОЇ ЕМІСІЇ У ФЕРОМАГНЕТИКУ, СПРИЧИНЕНИХ СТРИБКАМИ БАРКГАУЗЕНА**

### **ESTIMATION OF SIGNALS OF MAGNETOELASTIC ACOUSTIC EMISSION IN FERROMAGNETIC CAUSED BY BARKHAUSEN JUMPS**

**Олег Сергієнко, Наталія Мельник**

*Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.*

*The quantitative model for estimation of ferromagnetic domain wall bulk jumps caused by magnetic field known as Barkhausen effect is presented. The analytical expressions for assessment of amplitude of magnetoelastic acoustic emission signal are obtained. As a result of experimental studies the necessary*

*parameters for calculation of displacement according to this analytical model are obtained. It is shown that the magnetoelastic acoustic emission is sensitive to changes in domain structure of ferromagnetic materials.*

Сигнали акустичної емісії (АЕ) випромінюють тріщиноподібні дефекти, що поширюються під впливом прикладених до конструкції зусиль. Якщо їх рівень є недостатньо високий, дефекти не розвиватимуться, а отже не випромінюватимуть АЕ. Тому для їх виявлення потрібно прикласти більші зусилля. У багатьох випадках це є недоцільним і навіть небезпечним. Для феромагнетних матеріалів локально навантажити елемент конструкції можна зовнішнім магнетним полем, яке створюватиме концентрацію механічних напружень біля тріщиноподібних дефектів, рівень якої визначатиметься коефіцієнтом інтенсивності напружень, спричинюючи стрибки Баркгаузена та випромінюючи сигнали магнетопружної акустичної емісії (МАЕ).

Випромінювання пружних хвиль, спричинених стрибками Баркгаузена, тобто МАЕ пов'язана із магнетострикційними деформаціями у феромагнетику, які відбуваються у локальних областях тіла, де спостерігаються раптові зміни положення доменних стінок під впливом зовнішнього магнетного поля. Щоб оцінити компоненти вектора переміщень, а відтак і сигнали МАЕ, викликаних цими стрибками, припускали, що певний об'єм тіла, а саме той, де відбуваються ці стрибки, є джерелом трансформаційних (без прикладання зовнішніх механічних напружень) деформацій, зумовлених явищем магнетострикції. На цій підставі сформульовано розрахункову модель та отримано аналітичні залежності з яких випливає, що МАЕ випромінюється за умови перевищення прикладеним магнетним полем певного критичного значення, а максимальні значення сигналів МАЕ, спричинених стрибками доменних стінок, пропорційні до величини трансформаційних деформацій та до швидкості зміни об'єму області перемагнічування.

Для перевірки запропонованої моделі та отриманих залежностей проведено експериментальні дослідження на пластинчастих зразках двох представників феромагнетних матеріалів – технічно чистого (99,7%) нікелю та сталі 30. Як показали розрахунки за запропонованою моделлю та експериментальні дослідження цих матеріалів, максимальне значення переміщень для нікелю становило  $u_r = 1,28 \times 10^{-12}$  м, а для сталі 30 –  $u_r = 3,47 \times 10^{-14}$  м. Відповідні отримані нами експериментальні дані для нікелю були  $(1...4) \times 10^{-12}$  м, а для сталі  $(2...7) \times 10^{-14}$  м.

Слід зауважити, що запропонована модель може бути застосована до оцінки сигналів МАЕ як у випадку меж сусідніх доменів, в яких вектори намагненості утворюють кут у  $180^\circ$ , так і для доменів, в яких ці кути відмінні від  $180^\circ$ . У першому випадку область перемагнечування матиме розміри, співмірні із товщиною доменної стінки, а тривалість сигналу відповідатиме часу, за який доменна стінка зміститься на величину, співмірну із її товщиною. В іншому випадку область перемагнечування матиме розмір, співмірний з розміром домену, а тривалість сигналу буде пропорційною до розміру домену поділеному на швидкість стрибка доменної стінки.

Таким чином в результаті виконання роботи сформульовано розрахункову модель кількісної оцінки параметрів стрибка Баркгаузена за параметрами МАЕ; проведені експериментальні дослідження дозволили отримати необхідні дані та оцінити амплітудні значення сигналів МАЕ у нікелі та сталі і засвідчили, що метод МАЕ є чутливим до реєстрації малих переміщень у феромагнетних матеріалах ( $10^{-12}... 10^{-14}$  м), спричинених рухом доменних стінок під час стрибків Баркгаузена.

## ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ МАКРОРУЙНУВАННЯ СТОМАТОЛОГІЧНИХ ПОЛІМЕРІВ

### IDENTIFICATION OF TYPES OF DENTAL POLYMERS FRACTURE

Олена Станкевич

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

*The features of the fracture of polymeric materials used in dental practice for temporary structures were studied. By means of the criterion parameter  $\kappa$  was showed that under the quasi-static loading in polymers occur different types of the fracture (ductile, ductile-brittle, brittle). These types of fracture*

*alternate with each other during the critical crack growth. Polymers have been ranked by the fracture toughness on the initial stages of the fracture.*

В останні роки на стоматологічному ринку з'явилась велика кількість нових, різних за структурою і способом обробки матеріалів для виготовлення провізорних конструкцій (коронки, мостовидних протезів, вкладок і накладок тощо). Під час вибору відповідного матеріалу для виготовлення таких конструкцій необхідно мати не лише повноцінну інформацію про характеристики його міцності, але й знати динаміку процесів руйнування. Такі дані можна отримати, використавши під час механічних випробувань метод акустичної емісії (АЕ) та вивчивши особливості сигналів АЕ на основі параметрів їх вейвлет-перетворення (ВП).

Досліджували руйнування під час квазістатичного розтягу полімерних зразків із провізорних матеріалів Protemp<sup>TM</sup> 4 (3M ESPE, США), Acrodent (АО СТОМА, Україна), Struktur 2SC (VOCO, Німеччина), Tempcon 1-1PKG (GC, Японія), Ceramill PMMA (AmannGirrbach, Австрія). Одночасно з механічними випробуваннями здійснювали запис АЕ-інформації за допомогою системи SKOP-8M. Для селекції корисних сигналів від завад використовували метод паралельного вимірювального каналу. У режимі постобробки будували діаграми розтягу і розподілу амплітуд та неперервне ВП зареєстрованих сигналів АЕ.

Для оцінки типів руйнування, які протікають у полімерах, застосували к-критерій ідентифікування типів макроруйнування конструкційних матеріалів. Відтак будували неперервне ВП для сигналів АЕ, отриманих на різних стадіях навантаження та порівнювали його параметри.

Згідно з критерієм ідентифікування типів руйнування на початкових стадіях у більшості полімерів генеруються сигнали АЕ, що відповідають в'язко-крихкому руйнуванню ( $0,1 \leq k < 0,2$ ). У матеріалі Struktur спочатку з'являються сигнали АЕ в'язкого руйнування ( $k < 0,1$ ), а за подальшого навантаження переважають крихкі механізми, про що свідчать високі показники критеріального параметра відповідних сигналів АЕ ( $k > 0,5$ ). Почергову появу сигналів АЕ з високими та низькими значеннями показника  $k$  можна тлумачити як чергування макророзтріскування матеріалу з утворенням пластичних зон перед макротріщиною, відповідно.

За результатами аналізу НВП особливістю сигналів АЕ, які супроводжують крихке руйнування, є порівняно велике значення максимального вейвлет-коефіцієнта  $WT_{\max}$  та вузька смуга частот  $\Delta f$  у проекції  $WT-f$  на рівні  $0,7WT_{\max}$ . Для НВП сигналів АЕ, які супроводжують в'язке чи в'язко-крихке руйнування,  $WT_{\max}$  є значно меншим, ніж для крихкого, а відповідна смуга частот суттєво ширша.

На основі проведеного аналізу діаграм руйнування, мікроструктури поверхні матеріалів та значень критеріального показника типів руйнування можна стверджувати, що всі стоматологічні полімери, які використано в експериментах, руйнуються квазікрихко. Найміцнішим є матеріал Protemp<sup>TM</sup> 4, а найкрихкішим можна вважати – Struktur 2SC. Полімер Ceramill PMMA має найменшу міцність, але починає руйнуватись за навантажень, що перевищують цей показник для решти полімерів.

Отже, неперервне ВП сигналів АЕ є ефективним інструментом для вивчення динаміки та ідентифікування типів руйнування полімерних матеріалів. Чергування сигналів АЕ з різними значеннями критеріального показника  $k$  свідчить про наявність в'язкого, в'язко-крихкого та крихкого руйнування попри те, що макродоломи зразків усіх полімерів є крихкими.

## **РОЗРОБЛЕННЯ НОВИХ ЗАСОБІВ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ ВІБРОПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**

### **DEVELOPMENT OF MODERN MEANS FOR OPERATIVE CONTROL OF THE POWER EQUIPMENT VIBRATING PARAMETERS**

**Микола Шульженко, Юрій Єфремов, Вадим Цибулько, Олександр Депарма**

*Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України,  
вул. Дм. Пожарського, 2/10, м. Харків, 61046, Україна.*

*Hardware and functional capabilities of portable multifunctional measurement and diagnostic complex for non-destructive testing is described. This complex is used for assessing the technical conditions of long operation power and transport units.*

Для оцінки технічного стану турбоагрегатів за вібраційними параметрами, де відсутні стаціонарні системи вібродіагностики, а також для діагностування вібростану допоміжного устаткування використовуються мобільні вимірювально-діагностичні системи. З їх допомогою визначаються лише параметри коливань їх необертових частин. Тому, актуальним є створення нових засобів з можливістю вимірювання параметрів коливань як обертових частин (роторів), так і необертових частин.

У ІПМаш НАН України створено апаратні засоби для мобільного вимірювально-діагностичного комплексу та розроблено вихорострумкові датчики відповідних розмірів для контролю вібропереміщення роторів та віброшвидкості необертових частин. Розроблено вимірювальний канал з цифровою обробкою частотно-модульованого сигналу датчиків, в якому передбачена автоматична компенсація температурної похибки вимірювання ( $-30 - +125^{\circ}\text{C}$ ).

Згідно з ГОСТ ІСО 2954-97 похибка вимірювання на базовій частоті не повинна перевищувати  $\pm 10\%$ , а на краях частотного діапазону -  $\pm 20\%$ . Розроблена технологія цифрової корекції амплітудно-частотної характеристики, що дозволяє розширити частотний діапазон (1-1000 Гц) вимірювання віброшвидкості та компенсувати похибку вібровимірювального каналу у цьому діапазоні до  $\pm 2,5\%$ . Розроблено датчик уклону поверхні (інклінометр) для визначення перекосів підшипника. Датчик використовується у системах вібраційної діагностики для визначення просторового положення об'єкта відносно горизонту.

Датчики вібрацій є стійкими до впливу електромагнітних полів і не вимагають налаштування на метал об'єкта, тип і довжину (до 1000 м.) кабелю, лінії зв'язку й не чутливі до впливу бічного металу.

Створене методично-програмне забезпечення функціонування мобільного вимірювально-діагностичного комплексу складається з модулів: збору, візуалізації і первинної обробки інформації (нормалізації, фільтрації та обчислення основних показників сигналу); автоматизованого контролю технічного стану обладнання, що задовольняє Правилам технічної експлуатації електричних станцій і мереж, ГОСТ 25364-97 та ГОСТ 27165-97; оцінки спектральних характеристик та трендів вібропараметрів; визначення дебалансу роторів (розрахунку системи вантажів за відомими значенням динамічних коефіцієнтів впливу в одній або двох площинах).

Запропоновані засоби використано при попередньому дослідженні вібраційного стану димососу енергоблоку потужністю 300 МВт, що дозволило розробити технічні вимоги для оснащення його стаціонарною системою діагностики.

Основні складові мобільного комплексу використано при діагностуванні вібростану турбоагрегату потужністю 200 МВт. На основі аналізу даних вимірювання та траєкторій валопроводу було визначено фактори, що викликали підвищену вібрацію опор.



## СЕКЦІЯ 9

# ДІАГНОСТИКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

## КОРОЗІЯ ТРУБОПРОВОДІВ ПІД ВПЛИВОМ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ

### GAS HYDRATE CORROSION OF PIPELINES

Мирослав Мазур, Любомир Побережний

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.*

*The basic reasons for the formation of gas hydrates within the pipeline. The basic mechanisms of hydrate internal pipe corrosion. In the future, it is necessary to process modeling hydrate in the pipeline.*

Природний газ у пластових умовах (умовах залягання в земних надрах) знаходиться в газоподібному стані (72 %) у вигляді окремих скупчень (газові поклади) або у вигляді газової шапки (9,5 %) нафтогазових родовищ – це вільний газ, або в розчиненому стані (8,5 %) в нафті або воді (у пластових умовах), а в стандартних умовах – тільки в газоподібному стані. Також природний газ може знаходитися у вигляді газогідратів. Тверді гідрати можуть утворюватись при високих тисках і низьких температурах (навіть вище нормальної температури плавлення льоду) за рахунок слабких Ван-дер-Ваальсівських і водневих зв'язків, які характерні для води. Зокрема, при тиску 1 МПа етан може утворювати газові гідрати за температури нижче 4°C, тоді як при тиску 3 МПа він легко може утворювати гідрати за температури нижче 14 °C.

Сформовані гідрати можуть закупорювати трубопроводи, підводні лінії транспортування, а в випадку газового викиду під час буріння, гідрати можуть утворюватися в стояку свердловини в противикидному превентері і на штуцерній лінії. Це спричинить часткову або повну закупорку внутрішньої частини газопроводу, і якщо швидко її не видалити, то це приведе до зростання тиску всередині труби і до можливої аварії. В результаті чого можуть виникнути різні економічні та екологічні проблеми та серйозні ризики для безпеки обслуговуючого персоналу та устаткування.

На кожному етапі процесів утворення гідрату, відбувається хімічна взаємодія між компонентами гідрату і трубопроводом, що ініціює початок процесу внутрішньої корозії. Крім утворення отворів малих діаметрів, корозія в подальшому призведе до поступової деградації матеріалу і погіршення цілісності труби, газопровід почне протікати і це може спровокувати повнопрохідний розрив. Така перспектива разом з економічними наслідками, також може бути причиною екологічних та політичних наслідків, а також приведе до заміни труб по всій довжині трубопроводу та додаткових виробничих витрат, які можуть сягати мільярдів доларів.

Види корозії, які є результатом фізичного впливу, включають кавітаційну, ерозійну, точкову, електрохімічну, стрес корозію та корозійне розтріскування. На різних етапах формування, рідина переходить із рідкого стану в напівтвердий, а потім у твердий стан. На кожному з цих етапів, відбувається безперервна взаємодія між гідратною фазою і стінками трубопроводу, що призводить до початку типів корозії, які описано нижче. Перший етап формування гідратів є напівтвердий стан гідратних блоків, що містять рідину всередині порожнин. На цій стадії, їх можна легко розбити при сильному зіткненні з поверхнею. Кавітаційна корозія виникає на етапі руйнуванням бульбашок, що утворюються в областях низького тиску в транспортованій рідині. Через певний час напівтверді гідратні утворення переходять в затверділі блоки, і ці осколки продовжують рухатися. Вони,

рухаючись з високою швидкістю, бомбардують внутрішню поверхню стінок труби, викликаючи ерозійну корозію. Паралельно з цим при циклічному утворенні-розпаді гідрату проходить електрохімічна корозія зі схильністю до утворення пітів у місцях початку кристалізації гідрату.

Таким чином, при оцінці експлуатаційних ризиків, головним чином на промислових та морських глибоководних трубопроводах, необхідно урахувати внутрішньотрубну корозійно-механічну деградацію під впливом газогідратів. В подальшому необхідно розробити лабораторну методику дослідження газогідратної корозії газопроводів.

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ЗМІЦНЕНОЇ ІН'ЄКЦІЙНОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ БЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

### FORECASTING OF RESIDUAL LIFE OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER LONG-TERM OPERATION BY USING INJECTION TECHNOLOGY

Андріан Ревенко

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна.

*The paper presents a mathematical model of the deformation of elastic bodies with visco-elastic inclusions (filled crack). This model is the basis for the engineering approach to calculate the long-term strength of damaged structures of industrial buildings restored by injection technology. These results are important for engineering practice as in the evaluation of resource operability damaged industrial constructions, and the choice of materials for the "healing" damage.*

Значна кількість бетонних споруд тривалої експлуатації, у зв'язку з плином часу і виникненням різного типу дефектів, вичерпали свій експлуатаційний ресурс. Такими пошкодженими об'єктами є гідротехнічні споруди, опори мостів, фундаменти та інше. Для відновлення роботоздатності використовують технологію ін'єктування дефектних зон. Ця технологія полягає у заповненні тріщин, порожнин рідкими матеріалами, здатними тверднути через певний час [1]. Характерною властивістю ін'єкційних матеріалів є повзучість і пов'язана з нею релаксація напружень після затверднення.

Для прогнозування довготривалої міцності тіла із заповненою в'язкопружним матеріалом тріщиною застосована модель, що розроблена в роботі [2]. Для ін'єкційного матеріалу прийнято закон спадкової пружності у формі Вольтера [1]. Задовольнивши граничні умови на поверхні включення для визначення переміщень поверхні заповненої еліптичної в плані тріщини одержано інтегральне рівняння, розв'язок якого знайдено у вигляді:

$$u_z^*(x, y, t) = \frac{g(t) p c}{E} \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}},$$

де  $g(t)$  – функція від часу, яку встановлюють із розв'язку рівняння Вольтера:

$$\frac{E(k) + 2(1 - \nu^2)\omega\delta}{2(1 - \nu^2)\omega\delta} g(t) + \int_0^t K(t - \tau) g(\tau) d\tau + \frac{1}{\delta} \int_0^t K(t - \tau) d\tau + \frac{(\omega - 1)}{\omega \delta} = 0, \quad \delta = b/c. \quad (1)$$

На прикладі матеріалів, які описуються моделями Кельвіна (поліефірна смола, поліуретан) і в'язкопружним матеріалом зі степеневим ядром (епоксидна смола) показано суттєвий вплив реологічних характеристик матеріалу наповнювача на збільшення з часом концентрації напружень біля заповнених тріщин та, як наслідок, зменшення міцності відновлених ін'єктуванням тіл з тріщинами.

1. Маруха В. І. *Механіка руйнування та міцність матеріалів: довідниковий посібник* / В. В. Панасюк, В. П. Силованюк Під. ред. В. В. Панасюка Том 12: Ін'єкційні технології відновлення роботоздатності пошкоджених споруд тривалої експлуатації. - Львів: Сполом. – 2009. - 260 с. 2. Силованюк В. П. Довготривала міцність пружного тіла з еліптичною тріщиною, заповненою в'язкопружним матеріалом / В. П. Силованюк, А. В. Ревенко // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. – 2012. – № 1. – С. 33–38.

## ОЦІНЮВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ РАМИ ВІЗКА ЕЛЕКТРОВОЗА З ВТОМНОЮ ТРІЩИНОЮ

### RESIDUAL LIFETIME ESTIMATION OF ELECTRIC LOCOMOTIVE BOGIE FRAME WITH FATIGUE CRACK

Валентин Скальський<sup>1</sup>, Денис Рудавський<sup>1</sup>, Віктор Бас<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060, Україна;

<sup>2</sup>ПрАТ «Львівський локомотиворемонтний завод»,  
вул. Залізнична, 1а, м. Львів, 79018, Україна.

*The method of residual life time estimation of bogie frame with fatigue crack near operational opening of bolster beam is proposed. The method is based on calculation model of fatigue crack propagation which is built using the principle of conservation of energy in thermodynamic. The unknown mechanical properties of exploited bogie frame material were found by at least square method using obtained experimental data. The dependence of cracked bogie frame residual lifetime on fatigue crack length is obtained.*

Як показує практика, у процесі експлуатації тягового рухомого складу під дією циклічних знакозмінних навантажень відбувається погіршення механічних та фізичних властивостей металу несучих конструкцій електровоза, зокрема й рами його візків. На певній стадії в найбільш навантажених місцях рами починаються незворотні явища зниження опору металу руйнуванню і з'являються втомні пошкодження. Під час експлуатації електровоза вони інтенсивно розвиваються у вигляді поширення втомної магістральної тріщини, що, в свою чергу, може призвести до непередбаченого повного руйнування рами візка під час руху потяга.

Метою роботи є розроблення методики оцінювання періоду докритичного росту наявної втомної тріщини у матеріалі експлуатованої рами візка електровозу, а відтак і визначення її залишкової довговічності.

У роботі розглядали випадок поширення втомної тріщини біля технологічного отвору шворневої балки рами візка електровозу ВЛ80. Для цього спочатку було сформульовано розрахункову модель кінетики поширення втомної тріщини у тонкостінному елементі конструкції, що базується на енергетичному підході механіки руйнування матеріалів. Необхідні для застосування отриманих модельних рівнянь характеристики статичної та циклічної тріщиностійкості напрацьованого матеріалу рами візка було визначено на основі даних відповідних експериментальних досліджень методом найменших квадратів.

Під час роботи двигунів електровоза ВЛ80 в тяговому режимі шворнева балка рами візка зазнає складного механічного навантаження, яке суміщає її скрут та згин. Щоб оцінити напружений стан шворневої балки коробчатого профілю було використано відомі підходи опору матеріалів, а саме теорії кручення та згину тонкостінних балок замкнутого профілю. Таким чином було знайдено наближену теоретичну залежність коефіцієнта інтенсивності напружень в околі вершини втомної тріщини від її довжини та зовнішнього навантаження.

На основі проведених теоретико-експериментальних досліджень було побудовано діаграму залишкової довговічності рами візка електровоза із втомною тріщиною в залежності від її початкового розміру. За критерій вичерпання залишкової довговічності тут прийняли умову наближення вершини втомної тріщини до ребра жорсткості, розміщеного на внутрішній стороні шворневого бруса.

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН МАГІСТРАЛЬНОГО ТРУБОПРОВОДУ, ПОСЛАБЛЕНОГО ПРИПОВЕРХНЕВОЮ ОСЬОВОЮ ТРІЩИНОЮ

### STRESS-STRAIN STATE OF MAIN PIPELINES, WEAKENED BY SUBSURFACE AXIAL CRACK

Богдан Стасюк

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*A problem of modeling the stress-strain state in main pipelines, which contains subsurface axial crack of any shape, is solved by the boundary element method. A system of nine boundary integral equations with respect to displacement components on surfaces of a pipelines and displacements jumps on the crack surface is obtained. Stress intensity factors on the contour of a penny-shaped crack depending on depth of occurrence and orientation are calculated*

За наявності у конструкціях трубопроводів тріщин, необхідно додатково проводити міцнісні розрахунки з урахуванням зазначених дефектів, позаяк останні можуть виступати ініціаторами значних концентрацій напружень і призвести за подальшої експлуатації конструкції до її передчасного руйнування. Обладнання, яке працює під дією високого тиску зазвичай має присутні тріщиноподібні дефекти. Ці дефекти можуть збільшуватися (втом, корозія і повзучість), та привести до аварій зі значними екологічними наслідками та матеріальними втратами.

У діючих стандартах розглядаються лише плоскі тріщини кругової та еліптичної форми, які розташовані в площині поперечного перерізу труби. При цьому основна увага приділяється поверхневим тріщинам, оскільки, їх появу легше виявити та визначити їх параметри з допомогою дефектоскопів простої конструкції. Проте, сучасні інтелектуальні поршні здатні досить точно діагностувати на більш ранніх стадіях появу внутрішніх довільно орієнтованих тріщин та точно описувати їх топологію і розміри. Сучасні спрощені розрахункові моделі не здатні в повній мірі використати цю інформацію для точної оцінки ресурсу ділянок трубопроводів, що містять внутрішні осьові тріщини. Зокрема, в літературі переважають розв'язки таких задач без врахування взаємодії поверхонь тріщин з поверхнею тіла. Якщо ж ця взаємодія враховується, то автори обмежуються розглядом плоскої поверхні тіла, що є неприйнятним при оцінці ресурсу трубопроводів, які містять внутрішні тріщини.

Основною метою даного дослідження є розроблення більш досконалих методів оцінки граничного стану трубопроводу із внутрішньою плоскою тріщиною при комбінованому навантаженні. Для досягнення цієї мети використано досить загальний метод граничних інтегральних рівнянь, базований на теорії потенціалів, основною перевагою якого можна вважати зниження розмірності розв'язуваних задач на одиницю. Задача зводиться до розв'язування систем двовимірних сингулярних та гіперсингулярних інтегральних рівнянь. Обмеження на топологію та орієнтацію тріщин можна зняти застосувавши числові методи обернення систем сингулярних інтегральних рівнянь, серед яких найбільш ефективним можна вважати метод граничних елементів.

У цій роботі згаданий метод використано для отримання наближених значень коефіцієнтів інтенсивності напружень на контурі внутрішньої осьової тріщини у фрагменті труби під дією комбінації статичного зовнішнього навантаження та внутрішнього тиску. Числові значення переміщень поверхонь труби, а також стрибки переміщень точок на поверхнях тріщини пропонується визначати шляхом дискретизації та подальшого розв'язування числового аналогу системи граничних інтегральних рівнянь. Отримані значення невідомих функцій у вузлах граничних елементів можуть бути використані для визначення величин, необхідних для оцінки локальної міцності фрагмента трубопроводу з тріщиною.

Ефективність запропонованої методики проілюстрована на прикладі кругової осьової тріщини, площа якої утворює довільний кут з радіусом труби.

## **ОЦІНЮВАННЯ КІНЕТИКИ РОЗВИТКУ ТРІЩИНОПОДІБНИХ ДЕФЕКТІВ У СТІНКАХ ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТОВАНОГО ГАЗОПРОВОДУ «КИЇВ – ЗАХІДНА УКРАЇНА»**

**THE ESTIMATION OF THE AMPLIFICATION KINETICS OF THE CRACK-LIKE DEFECTS IN THE WALLS OF LONG EXPLOITED GAS PIPELINE «KYIV – WESTERN UKRAINE»**

**Ігор Федорович**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна.

*The method of numerical evaluation of the kinetics and the shape change of the fatigue crack like defects in the process of their growth on the air in the wall of the main gas pipeline (steel 17H1S) "Kyiv - Western Ukraine" is considered and tested. The possibility of this methodology using to estimate and predict the features of revealed in the technical diagnostics of pipeline "Kyiv - Western Ukraine" process corrosion-fatigue crack-like defects growth in the depth of the tube in the operating conditions (groundwater model NS4) is demonstrated.*

Згідно зі статистикою під час періодичної діагностики тривало експлуатованих магістральних газопроводів виявляють близько 5000-6000 тріщиноподібних дефектів (корозійних виразок і борозенок) кожні 100 км довжини. Причиною їх утворення є одночасна дія на магістральні газопроводи статичних, циклічних та динамічних навантажень і вплив корозійного середовища.

Розглянуто та експериментально перевірено методику [1] чисельної оцінки кінетики та зміни форми корозійно-втомних тріщиноподібних дефектів у процесі їх розвитку в стінці труби шляхом випробувань на повітрі призматичних зразків з наперед утвореними краєвою та півеліптичною тріщинами. Зразки довжиною  $l=300$  мм з поперечними розмірами  $(14 \times 50)$  мм вирізались із фрагмента труби з зовнішнім діаметром  $D=1,026$  м та товщиною стінки  $t=0,14$  м магістрального газопроводу „Київ – Західна Україна” експлуатованої за максимального робочого тиску газу  $p \approx 5,4$  МПа протягом 41 років.

Результати розрахунку кінетики розвитку тріщини згідно з методикою [1] та експериментально встановленою траєкторією її розвитку практично співпадають, що засвідчує можливість застосування даної методики до інтерпретації виявлених в процесі технічної діагностики тріщиноподібних дефектів

Досліджено кінетику розвитку півеліптичної втомної тріщини в стінці тривало експлуатованої труби (сталь 17ГС) магістрального газопроводу „Київ – Західна Україна”. Робочим середовищем слугувала модель ґрунтової води NS4. Визначено критичну кількість циклів навантаження і руйнівні розміри корозійно-втомних тріщин у залежності від початкових розмірів технічно діагностованих тріщиноподібних дефектів за умови одночасного впливу незначних робочих асиметричних навантажень  $R = 0,8$  та корозійного середовища (NS4).

Одержані результати можуть служити підставою для трактування даних про дефектність газопроводу, одержаних методами неруйнівного контролю.

1. Грабовський Р.С. До оцінки кінетики росту втомних тріщин в стінках трубопроводів / Р.С. Грабовський, В.С. Лужецький, Т.М. Горб'як // *Машинознавство*. – 2005. – №4 (94). – С. 7–10.

## СЕКЦІЯ 10

ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ І СЕРВІС  
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВВЗАЄМОЗУМОВЛЕНІСТЬ СИЛИ, ПЛЕЧА ТА КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ КОЧЕННЮ КОЛЕСА  
МОБІЛЬНОЇ МАШИНИINTERDEPENDENCE STRENGTH, SHOULDER AND COEFFICIENT ROLLING BEARING WHEELS  
MOBILE MACHINESПетро Гащук<sup>1</sup>, Сергій Нікіпчук<sup>2</sup><sup>1</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,  
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007, Україна;<sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*The analysis is based on opposition of a real wheel to ideal one and on use of the equations of force and power balance. By means of concepts «the wheel centre», and «the tyre centre» interconditionality of three factors was traced — forces, a shoulder and resistance rolling factor of the wheels each of these in it own way characterise dissipate of energy in a system «a wheel — a road».*

На ранньому етапі розвитку теорії експлуатаційних властивостей колісних мобільних машин панував концепційний безлад і конкуренція великої кількості сутнісно розбіжних поглядів на явище взаємодії еластичного колеса з довкіллям. Жоден з цих поглядів не можна було відкидати як хибний, позаяк усі вони впливали із сумлінних спостережень емпіричними засобами свого часу. Але з часом все ж мусила відбутись струнка й вірогідна концепціалізація досвідних даних, на основі якої можна було б пояснити велику частину спостережуваного і звести надійний фундамент для майбутніх досліджень. Одним із найсуперечливіших понять завжди була «сила опору коченню», яку намагалися «встромити» в силовий баланс колеса (чи загалом — машини), хоча впливала вона, радше, з енергетичного балансу. Отож існувала необхідність змінити домінантну парадигму.

Перш за все треба було будь-що відмовитись від надання звичним параметрам невластивого їм змісту. Отож, було запропоновано розглядати властивості реального колеса у порівнянні з властивостями ідеального колеса із біжником-стрічкою незмінної довжини та ідеального колеса із жорстким біжником-обручем відповідного радіуса.

За допомогою запропонованих моделей ідеального колеса проаналізовано втрати енергії в системі «колесо — долівка». Укладене загальне рівняння робіт, яке містить в собі роботу, виконувану над колесом, роботу, виконувану колесом над автомобілем, та сукупні втрати енергії унаслідок проковзування (буксування) колеса та на деформування долівки й подолання протидії внутрішнього в'язкого тертя в кістяку колеса. Встановлено взаємозв'язок між силовими чинниками.

На підставі рівняння сукупних втрат енергії встановлено, що одну із величин у цьому рівнянні можна витлумачити як момент опору коченню, зумовлений пластичністю долівки, а іншу — як момент опору коченню, зумовлений дисипативністю кістяка колеса. Означено поняття плеча опору коченню колеса  $a_{df}$ , дисипативного плеча опору коченню колеса  $a'_{df}$  та поняття коефіцієнта опору коченню  $f_k$ .

Відповідно до рівняння балансу потужностей означено момент опору коченню колеса  $M_f$  та силу опору коченню колеса  $F_f$ . Встановлено, що ні величина  $a_{df}$ , ні величина  $a'_{df}$  не збігаються з реальним плечем  $b_x$ . Отож, і  $a_{df}$ , і  $a'_{df}$ , а разом з ними і  $f_k$  — суто фіктивні, умовні, надумані параметри, покликані суто формально оцінювати дисипативні ефекти.

Хіба що у вільному режимі кочення колеса дисипативне  $a_{df}$  чи  $a'_{df}$  і реальне  $b_x$  плечі збігаються:  $a_{df} = a'_{df} = b_x$ . У тяговому режимі кочення  $a'_{df} < b_x$ , а в гальмівному й нейтральному режимах  $a'_{df} > b_x$ .

## ІННОВАЦІЙНІ ФОРМИ ТА МЕТОДИКА НАВЧАННЯ ПРИ ПІДГОТОВЦІ ВОДІЇВ ДО ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТУ

### INNOVATIVE FORMS AND METHODS OF TEACHING IN PREPARING DRIVERS TO USE TRANSPORT

Михайло Гелетій

*Середня загальноосвітня школа I – III ступеня № 48,  
вул. Рубчака, 8, м. Львів, 79026, Україна.*

*In his report the author tried to reveal peculiarities of combining various methods at preparing drivers to maintenance of vehicles, using up-to-date methods of instruction, in particular computers, projector, posters, parts, components and mechanisms of vehicles, application of non-standard form of conducting classes, in particular, video-lessons, conducting classes in the form of presentations, discussions, competitions, use of interactive methods, introduction of the newest technologies of instruction during classes. In particular, methods of use of information-communication technologies, digital educational resources as well as efficient combination of computer, projector, posters, parts, models, components of vehicles are shown, as well as efficacy of combination of educational, examination cards on paper and electronic media when studying traffic regulations, and a high effectiveness of combination of different forms of education with application of present-day Ukrainian and international methods.*

*Постановка проблеми.* Важливі перетворення у соціальній, політичній, економічній та культурній сферах життєдіяльності суспільства ставлять нові вимоги перед сучасною системою освіти, яка має готувати активного, творчого, конкурентоздатного фахівця на ринку праці. Це своєю чергою зумовлює провадження нових форм і методів організації навчального процесу, пошук ефективних шляхів активізації пізнавальної діяльності суб'єктів навчання. Виняткове місце у системі педагогічного інструментарію належить розумному та ефективному поєднанні сучасних технічних засобів навчання (комп'ютерів) з плакатами, наочним обладнанням деталей, вузлів, механізмів автомобілів, поєднання паперових та електронних носіїв при вивченні ПДР. Виходячи з вище викладеного, є аналіз можливостей активного використання інформаційно-комунікаційних технологій, цифрових освітніх ресурсів, комп'ютерних програмних засобів на заняттях автосправи та ефективного поєднання з іншими методиками навчання.

Окремим аспектам даної проблеми присвячені праці багатьох науковців: реформування, оновлення змісту освіти фахівця та змістовної підготовки вчителя автосправи – П.Р. Атутов, В.П. Безпалько, В.І. Гусев, П.Я. Дзюба, В.О. Поляков, П.І. Ставський, Д.О. Тхоржевський та ін., впровадження інтегрованих навчальних курсів – Г.А. Атанов, В.І. Боднар, У.Н. Нішаналієв, Г.Є.Левченко, В.М. Мадзігон, Д.О. Тхоржевський та ін., методичні аспекти вивчення автосправи, впровадження новітніх педагогічних технологій навчання – В.Г.Гетта, Р.С. Гуревич, А.І. Дьомін, В.Ф. Євграфов, М.І. Єрецький, О.М. Коберник та ін.

Проте проблема вивчення предмету «Автосправа» потребує подальшого дослідження як у змістовному, так і методичних аспектах. Актуальним є також впровадження ефективних педагогічних технологій у процес навчання, що сприяє кращому розкриттю змісту та засвоєнню учнями знань і вмінь.

*Виклад основного матеріалу.* Одним з ефективних напрямів використання інформаційних технологій у навчальній діяльності є створення комп'ютерних навчальних матеріалів з автосправи та ефективного, розумне поєднання з іншими навчальними матеріалами, в т.ч. зі стандартними.

Використання різноманітних навчальних методик, сприяє легкому засвоєнню навчальних програм. Викладач використовує різноманітні системи мотивації у вивченні автосправи (поєднання та застосування інтерактивних методик, ігрових форм, практичних занять та використання сучасних аудіо-відео засобів). Такий підхід сприяє глибокому засвоєнню навчальних програм та здобуттю знань.

Для цього на високому рівні слід володіти основами педагогіки, психології та вікової фізіології. Викладач повинен володіти високим рівнем знань з теоретичних основ автосправи та сучасних досягнень науки у сфері автосправи. У процесі занять з автосправи активно використовується інформаційно-комунікаційні технології, цифрові освітні ресурси, оскільки звернення до нових інформаційних технологій та їх ефективне застосування сприяє особистісній орієнтації педагогічного процесу, підвищенню пізнавальної активності студентів та покращує ефективність управління навчальною діяльністю.

Необхідно ґрунтовно володіти сучасними знаннями й умінями, новітніми освітніми технологіями та методиками навчання, що сприяє інтенсифікації, фундаменталізації, гуманізації освіти та комп'ютеризації навчання; інтеграції до міжнародної системи, зокрема бажано по можливості відвідувати заняття з автосправи у країнах Європи, який активно використовувати при підготовці водіїв транспортних засобів.

Важливо володіти широким спектром стратегій навчання, постійно використовувати широкий спектр методів і стратегій навчання, зокрема використовувати активні методи (аналіз і пояснення реальних ситуацій), активізація пізнавальної діяльності, мотивація навчання, вироблення ефективних стратегій навчання і відповідних технологій, спрямованих на активну роботу з різними джерелами інформації, спонукати до самоконтролю і саморегуляції навчання.

Важливе значення має продовження роботи у сфері залучення нових методів і стратегій навчання, вміння продукувати оригінальні інноваційні ідеї.

При оновленні програми навчання врахувати інтеграцію до міжнародної системи.

Володіння сучасними освітніми технологіями, методичними прийомами, педагогічними засобами, різними формами позаурочної роботи.

При вивченні певних тем з будови автомобіля використовувати розумне поєднання відеоматеріалу, деталей та вузлів автомобіля, а також плакатів, особливо це стосується будови автомобіля. При вивченні ПДР та безпеки руху іде поєднання відеоматеріалів, планшетів з моделями автомобілів і плакатів.

Необхідно впроваджувати передовий педагогічний досвід на уроках автосправи, вивчати закордонний досвід підготовки водіїв, в мережі Інтернету, наукових видань, а також кращий досвід України.

Отже, виходячи з вище сказаного, викладач повинен вміти лаконічно, образно, виразно подати матеріал, аргументувати свою позицію з даного матеріалу, повинен володіти ораторським мистецтвом подачі матеріалу, знати основні нормативно-правові акти в галузі освіти, створити електронну папку з основними нормативно-правовими актами про освіту, вміти встановлювати контакти з учнями, їх батьками та колегами по роботі, додержуватись педагогічної етики, моралі, бути тактовним, толерантним з учнями, колегами та працівниками школи, користуватись авторитетом серед учнів, колег, батьків.

*Висновок.* Використання комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення з автосправи, розумне та ефективне поєднання різноманітних навчальних методик дає змогу вчителю ефективно організовувати навчально-пізнавальний процес з автосправи. Як свідчить досвід та практика, саме при розумному, раціональному та ефективному поєднанні новітніх інформаційно-комунікаційних технологій, цифрових освітніх ресурсів з різноманітними навчальними методиками сприяє особистісній орієнтації педагогічного процесу, підвищенню пізнавальної активності учнів, покращує ефективність управління навчальною діяльністю учнів, легкому засвоєнню учнями навчальних програм.



## КОНЦЕПТ СУЧАСНОГО БАРЖЕ-БУКСИРНОГО СКЛАДУ ДЛЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ СУХИХ ВАНТАЖІВ З ДНІПРА НА ДУНАЙ

CONCEPT OF MODERN TUG-BARGE TRAIN FOR GENERAL CARGO TRANSPORTATIONS  
FROM THE RIVER DNIPRO TO THE RIVER DANUBE

**Олександр Єгоров**

*Морське інженерне бюро,  
вул. Тіниста, 15, м. Одеса, 65009, Україна.*

*Results of the analysis of freight traffics for Ukraine with definition of basic types of cargoes and directions are given. Estimation of technical state of Ukrainian fleet is given. Necessity of building of new vessels is shown. Modern concept of so-called «Dnipro-Max» class tug-barge train is given. The analysis of efficiency of operation of «Dnipro-Max» class tug-barge train with use of model of «rotator» is executed.*

Аналіз стану існуючого флоту суден внутрішнього (СВП) і змішаного річка-море плавання (СЗП) показав необхідність проектування і будівництва суден даних типів у найближчому майбутньому. За одержаними оцінками, такі судна мають середній вік за 30 років при розрахунковому експлуатаційному терміні в 24 роки. Аналіз існуючих і перспективних вантажопотоків України показав, що в найближчому майбутньому необхідність в СВП і СЗП тільки зростатиме.

Враховуючи вищенаведену інформацію, було прийняте рішення про створення концепту судна, здатного задовольнити попит на вантажоперевезення Дніпром, Чорним морем й Дунаєм (до порту Рені). Виконавши дослідження існуючих суден змішаного плавання, які експлуатуються на Дніпрі з можливістю виходу в Чорне море, проаналізувавши путьові умови Дніпра, Дунаю (до українських портів), морської ділянки Чорного моря, що з'єднує ріку Дніпро й ріку Дунай, був створений концепт барже-буксирного складу (ББС) «Дніпро-Макс» класу. Була змодельована робота складу з використанням моделі «вертушки» і виконана оцінка ефективності експлуатації.

За результатами розрахунків строк окупності проекту склав 5 років. Отриманий строк окупності судна менше строку окупності, прийнятого у вітчизняному судноплаванні (маються на увазі судна змішаного ріка-море плавання). Для самохідних суховантажних суден змішаного плавання прийнятним строком окупності вважається строк в 8-12 років, залежно від обраної лінії й обраного вантажу на перевезення.

Доведено економічну ефективність роботи ББС у режимі «вертушки». Необхідно відзначити, що експлуатація ББС реально ефективна тільки там, де існують гарантовані, постійні вантажопотоки з розвиненим логістичним ланцюжком.

## АНАЛІЗ ТРИВАЛОСТІ РЕАКЦІЇ ВОДІЯ У РІЗНИЙ ЧАС ДОБИ

ANALYSIS REACTION TIME DRIVERS AT DIFFERENT TIMES OF DAY

**Микола Жук, Микола Бойків, Анастасія Швергун**

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*This article examines the change in reaction time of the driver in the laboratory in light and night-time. Studies provide an opportunity to determine the dynamics of changes in reaction time of the driver depending on traffic conditions*

З настанням темряви погіршується видимість доріг, оточуючих об'єктів, зір стомлюється значно швидше. Незважаючи на значне зниження інтенсивності руху, вночі небезпека руху зростає. Водій у процесі сприйняття величезного потоку інформації, зобов'язаний не лише виявити її, але і опрацювати, ухвалити відповідне рішення і на підставі нього провести дії. Весь процес цей процес

від сприйняття до здійснення дії вимагає певних витрат часу, який ще називають часом реакції водія. Від нього залежить гальмівний шлях автомобіля.

Збільшення часу реакції водія призводить, у свою чергу, до збільшення динамічного габариту транспортного засобу [1]. Проведені на сьогоднішній день дослідження дають змогу прийти до висновку, що при вивченні причин нічних ДТП перше, що треба взяти до уваги, – специфічні фізіологічні особливості зору людини. Причини погіршення безпеки руху в темну пору доби, які залежать від зорових функцій водія наведені у роботі [2].

Вночі потрібна висока стійкість уваги, тому що величина психічних навантажень, які сприймає водій призводить до швидшої стомлюваності, що у свою чергу впливає на збільшення тривалості реакції. Дослідження тривалості реакції водія проводилось у лабораторних умовах у темну та світлу пору доби. Для її визначення використовувалась комп'ютерна програма розроблена авторами [3], яка включає в себе два тести. За допомогою автомобільного тренажера у лабораторних умовах водію представлялись ситуації, які траплялись із водіями під час руху.

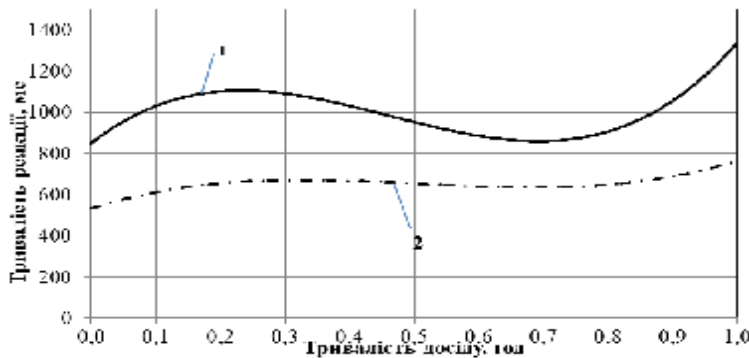


Рис. 1. Зміна тривалості реакції водія за різних умов руху:  
1 – у темний час доби; 2 – у світлий час доби

Основна задача водія полягала розпізнати небезпечну ситуацію на картинці, що появляється серед інших та відреагувати на неї. Впродовж години у світлу пору доби тривалість реакції водія в середньому складала 690 мс, за такий же час у темну пору доби тривалість реакції характеризувалась великою амплітудою коливання та змінювалась у межах 850 – 1400 мс. (рис. 1).

Отже навіть у лабораторних умовах у темну пору доби зміна функціонального стану водіїв

призводить до коливання тривалості реакції, що негативно позначається на безпеці руху вночі. Оскільки тривалість реакції водіїв у реальних умовах, як правило, є більшою, вплив умов руху у темну пору доби на тривалість реакції водіїв потребує подальшого вивчення, зменшення якої має важливе значення для підвищення безпеки руху.

1. Гюлев Н.У. К вопросу о формировании транспортных потоков в городах с учётом психофизиологии водителя / Н.У. Гюлев // Коммунальн. господар. міст. – 2012. – № 103. – С. 485-489. 2. Кужель В.П. Дослідження особливостей сприйняття дорожньої обстановки водієм в темну пору доби / В.П. Кужель // Вісник ЖДТУ. – 2012. – №3. – с. 94-101. 3. Жук М.М. Методика досліджень впливу функціонального стану водія на час реакції у складних і простих ситуаціях / М.М. Жук, В.В. Ковалишин // Вісн. Донец. акад. автомоб. трансп. – 2011. – № 4. – С. 12-17

## ПРОБЛЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОМОБІЛІВ З РІЗНИМИ ЕНЕРГОУСТАНОВКАМИ НА ЕТАПАХ ЇХНЬОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

### PROBLEM ASSESSMENT ENVIRONMENTAL SAFETY CARS WITH DIFFERENT POWER PLANTS DURING THEIR LIFE CYCLE

Роман Качмар

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*The necessity generalized systematic approach to establish a comprehensive environmental impact of cars with different power plants at all stages of the life cycle and comparing the level of environmental safety.*

У багатьох містах світу основним джерелом забруднення довкілля став транспорт, насамперед автомобільний. Автотранспорт є джерелом викидів токсичних речовин, електромагнітного та

теплого випромінювання, вібрації, шуму, а також продуктів зносу фрикційних пар та шин, відпрацьованих технологічних рідин тощо. Автомобільний транспорт є основним джерелом забруднення довкілля в містах України, на нього припадає до 90 % від усіх антропогенних викидів шкідливих речовин. Тому сьогодні дослідниками і виробниками автомобілів зосереджено особливу увагу на напрямках зниження екологічного тиску на довкілля пересувними джерелами.

Водночас, усі законодавчі акти щодо обмеження викиду шкідливих речовин від руху автотранспорту зосереджено на обмеженні чи напрямках зниження рівня викиду забруднювальних речовин з відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Сьогодні застосовують різноманітні системи безпосереднього впорскування палива, нейтралізації відпрацьованих газів автомобільних двигунів, рециркуляції відпрацьованих газів тощо. При цьому недостатньо уваги приділяється напрямкам зниження рівня екологічного тиску на етапах виробництва та утилізації автомобілів та їхніх агрегатів. З появою гібридних автомобілів, які частину випробувальних їздових циклів проходять з так званим «нульовим» викидом, або електромобілів із запасом ходу до 300 км залежно від умов руху, постала потреба не тільки розроблення спеціальних їздових циклів, а й оцінювання рівня екологічності таких транспортних засобів на всіх етапах їхнього життєвого циклу.

Ріст складності і технологічності систем автомобіля призводить як до зниження витрати палива, і зазвичай зниження викиду токсичних компонентів відпрацьованих газів автомобільних двигунів, так і до ускладнення етапів виробництва й утилізації таких систем. Неправильно сприймати автомобіль як екологічний лише на основі зниження викидів токсичних компонентів на етапі експлуатації, без врахування усіх етапів життєвого циклу. Тому ефективність підвищення екологічності на етапі експлуатації таких автомобілів повинна підтверджуватися на всіх етапах його життєвого циклу. Особливу увагу потрібно зосередити на утилізації відпрацьованих акумуляторних батарей електромобілів. Необхідно також розробити систему оцінювання екологічної безпеки автомобілів з різними енергоустановками, незалежно чи споживається бензин, дизельне паливо, електрика, біопаливо або водень тощо. Також обов'язково потрібно при розрахунку зведеного індексу екологічності врахувати екологічну ефективність процесу виготовлення кожного з видів палива.

Зважаючи на інтенсифікацію наповнення ринку автомобілів, дослідження скеровані на типові задачі зниження наслідків впливу екологічної безпеки автомобілів на рівень забруднення довкілля. Дослідження ступеня впливу кожного з елементів на довкілля проводили такі вчені як Гутаревич Ю.Ф., Матейчик В.П., Говорущенко М.Я., Левковець П.Р., Мержієвська В.В. Не применшуючи вкладу науковців, слід зауважити, що жоден з них не використовував узагальнений системний підхід до встановлення комплексного впливу на всіх етапах життєвого циклу автомобілів з різними енергоустановками на довкілля та порівняння їхнього рівня екобезпеки.

Тобто сьогодні практично відсутні результати комплексних досліджень негативного впливу усіх елементів систем автомобілів з різними енергоустановками на природне середовище, які дозволили б розробляти наукові методи та методики як оцінювання впливу кожного елемента системи на довкілля зокрема, так і способів зниження негативного впливу за увесь життєвий цикл автомобіля як при його використанні, так і інфраструктури забезпечення його експлуатації та мережі автомобільних доріг. Також потрібно виділити стаціонарні об'єкти автотранспортного комплексу: майданчики та гаражі зберігання, автотранспортні підприємства технічного обслуговування та ремонту техніки, пости зовнішнього миття, подвір'я і бокси власників техніки, придорожні автозаправні станції та станції технічного обслуговування.

## **РОЗРАХУНОК ВИТРАТ ПАЛЬНОГО ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАРНОГО ПУСКУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

### **CALCULATING THE COST OF FUEL FOR STARTER START-UP CAR AUTOMOBILE ENGINES**

**Степан Нємий, Василь Бритковський**

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*Is considered the energetic efficiency of modern systems of electric starter start-up vehicle engines in aspects of the efficiency of the system for the use of the chemical energy of fuel consumption and maintenance costs.*

Метою роботи є обґрунтування теоретичних залежностей, які відображують енергетичні витрати у сучасних традиційних системах електростартерного пуску двигунів, придатних для оцінювання експлуатаційних витрат пального.

ККД системи стартерного пуску «акумуляторна батарея – стартер – зубчатий вінець маховика – двигун – генератор – акумуляторна батарея» можна відобразити рівнянням

$$\eta = \eta_b \eta_{ст} \eta_k \eta_m \eta_{зб} \eta_z \eta_{пг} \eta_{ед},$$

де  $\eta_b$ ,  $\eta_{ст}$ ,  $\eta_k$ ,  $\eta_m$  – відповідно ККД, акумуляторної батареї, стартера, ділянки проводу стартерного кола, зубчатого зачеплення «стартер – вінець маховика»;  $\eta_{зб}$  – ККД заряду акумуляторної батареї;  $\eta_z$  – ККД генераторної установки;  $\eta_{пг}$  – ККД пасового привода генератора;  $\eta_{ед}$  – ефективний ККД двигуна.

Із врахуванням наведених в літературі значень ККД, розрахунок за вищенаведеною формулою показує, що ефективність використання енергії пального для електростартерного пуску становить:  $\eta = 0,0255$ , тобто не більше 2,6 % хімічної енергії пального перетворюється у корисну роботу, необхідну для електростартерного пуску двигуна. Виходячи із цього виведено формули для розрахунку витрат пального для пуску двигуна на 100 км пробігу.

Для прикладу, наведено розрахунок витрат пального для пуску двигуна вантажного автомобіля ЗИЛ-130, необхідного для пуску двигуна, у міських умовах експлуатації (див. табл. 1).

Таблиця 1

Розрахунок витрат пального для пуску двигуна на 100 км пробігу

| Параметр                                                 | Значення |      |      |      |      |
|----------------------------------------------------------|----------|------|------|------|------|
| Температура двигуна, °C                                  | -15      | -10  | 0    | 20   | 80   |
| Витрати пального для пуску двигуна $Q_{п100}$ , л/100 км | 2,64     | 2,06 | 1,32 | 0,44 | 0,06 |

У порівнянні із контрольною витратою пального автомобіля ЗИЛ-130 (29 л/100 км), наприклад, витрати пального для пуску при температурах двигуна нижче 0°C знаходяться у межах 4,55 – 9,1 %, а при температурах двигуна понад 20°C – 0,2 – 1,5 %.

**Висновки.** 1. Обґрунтовано теоретичні залежності, що відображують енергетичні витрати у сучасних традиційних системах електростартерного пуску двигунів, придатні для оцінювання експлуатаційних витрат пального.

2. Сучасні традиційні системи електростартерного пуску двигунів автомобілів є одними з найменш ефективних автомобільних систем в аспекті використання хімічної енергії пального.

## РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

### CALCULATION OF EFFICIENCY OF INTRODUCTION OF NEW TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON MOTOR TRANSPORT ENTERPRISES

Степан Немий<sup>1</sup>, Олександра Нема<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна;

<sup>2</sup>Львівський регіональний інститут державного управління Національної академії  
державного управління при Президентові України,  
вул. Сухомлинського, 16, с.м.т. Брюховичі, 79491, Україна.

*The methodical going near the calculation of economic efficiency of investments for modernization of technological areas on motor transport enterprises, going out from diminishing of time of outage of rolling stock in technical service and repair is offered.*

Вітчизняні автотранспортні підприємства (АТП) потребують вкладення інвестицій для якісного оновлення своїх активів. При впровадженні нового технологічного обладнання для виконання технічного обслуговування (ТО) та поточного ремонту (ПР) важливе значення має визначення економічної ефективності інвестицій – співвідношення отриманого результату і витрат.

Для успішної виробничої та економічної діяльності підприємства необхідно постійно детально обліковувати всі витрати, пов'язані з його функціонуванням [1, 3]. Ці дані будуть статистичною базою для всіх подальших техніко-економічних розрахунків, зокрема, оперативного визначення вартості транспортних послуг, виходячи із заданого планового рівня рентабельності на АТП, у тому числі й при оцінюванні ефективності інвестицій для модернізації технологічних дільниць чи впровадження окремих технічних заходів на АТП.

У будь-якому випадку, економічна ефективність від впровадження у технологічний процес ТО і ПР нових технологічних засобів очікується за рахунок зменшення тривалості простою транспортних засобів (АТЗ) під час ТО і ПР. Це буде сприяти збільшенню коефіцієнта випуску АТЗ на лінію та, відповідно, збільшенню прибутку АТП за рахунок зростання обсягів перевезень.

Обґрунтовано формулу для розрахунку чистого прибутку від збільшення обсягу перевезень при модернізації технологічних дільниць чи впровадження окремих технічних заходів на АТП [2]:

$$\Pi_P = \alpha D \left( 1 - \frac{\alpha}{R_q + \alpha} \right),$$

де  $\alpha = 1 - \alpha_n/100$ ;  $\alpha_n$  – норматив податку на прибуток, %;  $D$  – річний дохід від збільшення обсягу перевезень;  $R_q$  – чиста рентабельність перевезень.

1. Скворцов І. Б. Ефективність інвестиційного процесу: методологія, методи і практика: моногр. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2003. – 312 с. 2. Нємий С. В. Методика розрахунку економічної ефективності від впровадження технічних заходів на автотранспортних підприємствах / С. В. Нємий, О. С. Нєма // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Проблеми економіки та управління. – 2012. – № 725. – С. 328–332. 3. Шигіда С. А. Еволюція теорії та практики обліку витрат / С. А. Шигіда, І. М. Ломтева, М. П. Сначов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ: Вид-во Дніпропетр. Нац. ун-ту заліз. трансп. імені акад. В. Лазаряна. – 2011. – Вип. 36. – С. 318–324.

## РОЗВИТОК КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ ЗА ВІДКЛЮЧЕННЯ ГРУПИ ЦИЛІНДРІВ

### TORSIONAL VIBRATIONS DEVELOPMENT BY CYLINDERS GROUP SWITCHING-OFF

Володимир Ніколаєнко

Національний транспортний університет,  
вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010, Україна.

*In the article one carries out the analysis of engine work by cylinders group switching-off. The crankshaft torsional vibrations amplitudes during resonance serve a criterion of estimation.*

Крутильні коливання є одним з чинників, які впливають на міцність та довговічність автомобільних двигунів. Розрахунок на крутильні коливання є основним при проектуванні нових та експлуатації діючих двигунів. Важливість такого розрахунку зростає при порушенні специфікаційних режимів роботи двигуна. До такого порушення слід віднести програмоване відключення групи циліндрів з метою економії витрати палива та зменшення шкідливих викидів. Робота на таких режимах супроводжується збільшенням нерівномірності ходу внаслідок асиметричності навантаження на моторні маси двигуна. Окрім нерівномірності ходу асиметричність навантаження змінює поведінку мас двигуна, як елементів пружної системи. Вплив оцінюється за розвитком амплитуд коливань під час резонансу. Відключення групи циліндрів приводить до погіршення розвитку крутильних коливань. Метою дослідження є визначення меж такого погіршення з встановленням рекомендацій по зміні характеру відключення або внесенню конструктивних змін.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ СПОСОБІВ КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЕМ  
НА МАГІСТРАЛІ

THE RESEARCH OF ENERGY SAVING MODES OF CAR DRIVING IS AT HIGHWAY

Мирослав Оліскевич, Василь Бритковський

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.**The results were shown in the paper that refers stipulations of success of theoretically and experimentally application of motion of cars on highways with the modes of acceleration and free rolling.*

Сучасні тенденції до енергозбереження примушують переглядати не тільки конструкції автомобілів, а й способи і засоби їх ощадного керування. У цих дослідженнях показані результати, що теоретично і практично обумовлюють успішне застосування руху автомобілів по магістралях із режимом вільного кочення. Зміст відповідної програми руху автомобіля повинен полягати в тому, щоб рухатись в діапазоні швидкостей  $[V_1, V_2]$ . Рушійна сила  $P_k$  при цьому зростає. Після досягнення швидкості  $V_2$  привід автомобіля вимикається і він рухається під дією сили опору  $P_0$ . Енергія, яка виробляється під час такого режиму –  $E_1$  на дистанції  $0 \dots s_1$ . При рівномірному русі вироблена енергія  $E_2$  не витрачається упродовж усієї дистанції  $0 \dots s_2$ . Умовою вигідного застосування імпульсного руху є  $E_1 < E_2$ . Ця вигода спостерігається, практично, завжди, коли сила  $P_k$  наростає стрімко. Для досягнення мети застосовано симуляційну модель, а також проведено експериментальні дослідження. В моделі автомобіль розглядався як матеріальна точка. При цьому визначено оптимальну кусково-неперервну функцію  $P_k(s)$  і побудовано фазову траєкторію руху об'єкта. Експериментальні дослідження проводились на замській дорозі в напрямку Львів-Городок, з сухим рівним покриттям, в хорошому технічному стані. За якістю вона – 2-го класу. Ділянка її, на якій проводились дослідження, проходить по горизонтальній місцевості, не має перетинів з іншими дорогами, пішохідних переходів, зон з обмеженою видимістю, мостів, звужень. Дослідження проводились в час найменшої інтенсивності руху (неділя, 8<sup>00</sup>-9<sup>00</sup>), яка не досягала 5 автомобілів/год. Видимість шляху була доброю. Дослідження проводились на автомобілі ДЕУ Сенс, об'єм двигуна 1,4 л, 2007 р.в. із загальним пробігом 70 тис. км. Автомобіль був у справному стані. В салоні автомобіля перебували двоє осіб: водій і пасажир на передньому сидінні. Вимірювання тривалості циклів виконувалось з допомогою електронного секундоміра і контролювалось з допомогою відеореєстратора DOD GSE 550, яким також визначалась миттєва швидкість та пройдений шлях. Параметри роботи двигуна реєструвались в режимі реального часу з допомогою пристрою Сканматік, підключеного через діагностичний роз'єм і адаптер DB25 до ПК, і відповідного програмного забезпечення. Записувалась зміна з часом: шляхової витрати палива, миттєвої швидкості автомобіля, частоти обертання к. в. Застосовувались такі режими руху: 1) розгін від початкової швидкості 60 км/год. до, – відповідно, 70, 80 та 90 км/год. з мінімальним прискоренням (мінімальна допустима частота обертання к. в. при даній швидкості) на прямій передачі трансмісії; далі – вільне кочення з вимкненою передачею до досягнення початкової швидкості; 2) такі ж цикли розгін – вільне кочення, однак – з максимальним прискоренням (дросельна заслінка – максимально відкрита). Кожен дослід повторено тричі в прямому і зворотному напрямку дороги. Після цього проведено обробку осцилограм витрати палива з допомогою електронних таблиць Excel, та виконано порівняння отриманих циклів з однорідними за середньою технічною швидкістю на заданій ділянці дороги. В результаті було доведено, що найкраще практичні результати узгоджуються з моделюванням при умові максимально інтенсивного розгону до найменш можливої з максимальних швидкостей (70 км/год. – в даному випадку). Подальші експерименти мають стосуватись інших дорожніх і транспортних умов, а також видозмін транспортних циклів.

## ДЕЯКІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗАЦІЇ МЕХАНІЧНОЇ ТРАНСМІСІЇ АВТОМОБІЛЯ

### SOME ASPECTS OF AUTOMATION OF MECHANICAL TRANSMISSION OF CAR

Роман Пельо

*Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.*

*The algorithm of the best ways to control the engine and manual transmission with respect to fuel efficiency subject always to a given program of the car.*

Автоматична трансмісія у порівнянні з механічною трансмісією енергетично менш досконала (її ККД, корисний ефект загалом нижчий), але за рахунок оптимального суміщення з двигуном та втілення оптимальних законів блокування гідродинамічного трансформатора, а також законів перемикавання передач в механічній її частині вона потенційно здатна все ж інколи забезпечити вищу паливну економічність та динамічність автомобіля. Крім цього властивість автоматичної трансмісії поглинати ударні навантаження сприяє збільшенню ресурсу двигуна й ходової частини автомобіля.

Але це не означає, що класична автоматична трансмісія не має рівноцінної альтернативи. Радше навпаки, вона унаочнює можливі напрямки удосконалення механічних трансформаторів енергії. Отже, удосконалити традиційну механічну трансмісію можна, впроваджуючи принципи оптимального суміщення режимів, оптимальні закони керування, засоби підвищення еластичності — всього того, чим приваблива автоматична трансмісія.

Вважають, аби повноцінно усунути людину від керування автоматична трансмісія повинна алгоритмічно співпрацювати десь із сотнею сенсорів, які мали б постачати автоматичну систему належною кількістю інформації належної якості. Така велика кількість складових елементів, звісно, негативно позначається на потенційній надійності системи керування. Неякісна робота бодай одного сенсора спричиняє спотворення алгоритмів керування: енергоощадний, динамічний та будь-який інший алгоритм перестають бути такими, а частіше трансформуються в неробочий, аварійний. Але існують підстави припустити, що оптимальність законів перемикавання передач змістовно значно простіша, аби треба було покладатися на настільки великий обсяг інформації. Ставлення до всіх різновидів автоматичних трансмісій можна буде обґрунтувати, якщо вдасться відповісти на такі запитання.

1. Якою має бути ідеальна тривалість перемикавання передач? Чи справді доречна швидкоплинність зміни передач?

2. Які параметри визначають доцільність використання тієї чи іншої передачі в ту чи іншу мить часу? Чи справді сенсорів, що постачають інформацію мікропроцесорній системі керування трансмісією, має бути ледь не сто?

3. Чим особливим відрізняються енергоощадні й динамічні (спортивні) закони перемикавання передач? Чи справді вони принципово не зводні один до другого і мають бути обов'язково запрограмовані в досконалій східчастій трансмісії?

4. Чи реакція «кікдаун» на акцію водія «педаль акселератора — у підлогу» — це справді особливий режим керування трансмісією, який би мав зобов'язати коробку передач задля інтенсифікації розгону автомобіля перемкнутись на нижчу передачу або й через одну униз?

5. Чи має об'єктивні шанси механічна трансмісія з ручним перемиканням в майбутньому застосовуватись на автомобілі? Про ці шанси доречно принаймні говорити, якщо б оптимальні закони керування трансмісією було легко відтворювати (хоча б з прийнятною точністю) без засобів автоматизації.

## ДО ПОРІВНЯЛЬНОГО ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТРИЛАНКОВИХ АВТОПОЇЗДІВ РІЗНИХ КОМПОНУВАЛЬНИХ СХЕМ

### TO COMPARATIVE ESTIMATION OF FIRMNESS OF THREE-UNIT LORRY CONVOYS OF DIFFERENT LAYOUT CHARTS

**Володимир Сахно, Віктор Поляков**

*Національний транспортний університет,  
вул. Суворова, 1, м. Київ, 01010, Україна.*

*It is rotined that stalling speeds of motion of lorry convoys which are certain after flat and by a spatial model in rectilinear motion do not almost differ between itself. Firmness of lorry convoy in transient behaviors is determined after an amplification of lateral acceleration of the last link of lorry convoy factor.*

Відомо, що рух автомобіля (автопоїзда) по кривій характеризується перехідним процесом, що виникає в системі з появою на вході того чи іншого виду збурення. Поводження автотранспортного засобу в перехідному режимі характеризує його стійкість. При визначенні показників стійкості руху автопоїздів недостатньо розглядати тільки плоскопаралельний рух його ланок, за якого вважається, що нормальні реакції опірної поверхні на колеса правого і лівого борту однакові. Рух автопоїзда у перехідних режимах може призвести до суттєвої зміни реакцій опірної поверхні на колеса його ланок. Тому необхідно розглянути рух автопоїзда в поздовжній вертикальній і поперечній площинах.

Досліджено рух автопоїздів різних компоновальних схем: автопоїзд №1 – причіпний на підкатному візку; автопоїзд №2 – типу «B-Double»; автопоїзд №3 – сидельно-причіпний, автопоїзд №4 – причіпний з двома причепами з наближеними осями. Отримані рівняння, що описують рух ланок автопоїзда у вертикальній площині (поздовжній і поперечній), поряд з рівняннями, що описують рух його ланок у горизонтальній площині, використовують для знаходження показників стійкості автопоїзда у прямолінійному і перехідних режимах руху. Задавши закон зміни кута повороту керованих коліс тягача, чисельним інтегруванням отриманих рівнянь знайдено значення параметрів руху АТЗ при виконанні ними різних маневрів. Однак для рішення задачі стійкості більше значення має з'ясування не параметрів руху, у тому числі і його траєкторії, а умов його існування.

Критичні швидкості руху автопоїздів, що визначені за плоскою і просторовою моделлю у прямолінійному русі, майже не відрізняються між собою. При аналізі стійкості руху автопоїзда більш інформативним, ніж бічні прискорення, є коефіцієнт посилення бічного прискорення останньої ланки автопоїзда. Аналіз результатів розрахунку показав, що найбільшого значення коефіцієнт посилення досягає для другого причепа причіпного автопоїзда. Співставлення отриманого значення коефіцієнта посилення прискорення останньої ланки автопоїзда за відсутності крену кузова і з його урахуванням за швидкості 15 м/с показує на значне його збільшення від 12,9% для автопоїзда типу «B-Double» до 25,4% – для причіпного автопоїзда з двома причепами. Таким чином, урахування крену кузова призводить до суттєвого погіршення усіх показників стійкості, зокрема граничної швидкості руху при виконанні різних маневрів, що необхідно враховувати при комплектації триланкових автопоїздів.

За результатами розрахунків можна стверджувати, що тільки триланкові автопоїзди причіпний на підкатному візку і типу «B-Double» при виконанні маневру «переставка» і «поворот R=35 м» задовольняють нормативним вимогам (відповідно 50 км/год і 46 км/год). У той же час сидельно-причіпний автопоїзд і причіпний автопоїзд з двома причепами цим вимогам не задовольняють і для таких автопоїздів необхідні певні конструктивні рішення для зменшення коливань причепа.



## ПОЛІПШЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПАР ТЕРТЯ ВУЗЛІВ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

### IMPROVEMENT OF TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF WORKINGS SURFACES PAIRS OF FRICTION COMPONENTS OF AUTOMOTIVE OF MILITARY HARDWARE

Іван Томей, Сергій Тимофєєв, Ольга Сакно

*Військова Академія,  
вул. Фонтанська дорога, 10, м. Одеса, 65009, Україна.*

*In the article the problem of improvement of parameters of quality of facial layer is considered by technological methods which allow to increase the operation life of friction components.*

Головна причина передчасного виходу з ладу деталей і вузлів тертя є їх низькі трибологічні характеристики. Термін служби пар тертя вузлів техніки військового призначення у 80-90% випадків менше загального терміну служби автомобіля, що викликає необхідність виробництва запасних частин, якість яких нижча від якості базових деталей. Одночасно необхідно вирішувати й проблему зниження маси автомобіля, розходу палива, що можливо за рахунок заміни чавуна та сталі на легші алюмінієві сплави, із збільшенням використання котрих в автомобілебудуванні, у тому числі і в парах тертя, виникає проблема підвищення зносостійкості. Сьогодні алюміній вживається у виробництві кузовів і компонентів підвісок, шасі, в блоках циліндрів, АКП. Але недостатня міцність алюмінієвих поршнів, швидкий знос кільцевих канавок, інших деталей обмежують їх вживання.

Запропонований спосіб обробки ЗВОПС [1] – звукова вібраційна обробка в пружному середовищі, оснований на використанні декількох фізичних явищ одночасно, а саме: виникнення резонансних коливань деталі при наданні їй вимушених коливань, що співпадають з власною частотою коливань в діапазоні звукових частот; квантування енергії обробки в енергію короточасного імпульсу (потужність 30-40 кВт); взаємодії поверхневих шарів деталі з пружним середовищем; фізико-хімічних змін в поверхневому шарі, що зводяться до переорієнтації кристалів, руху дислокації до кордонів зерен. Головні відмінності запропонованого способу: передача вимушених коливань самій деталі, що дозволяє зменшити витрати енергії; використання явища резонансу протягом всього процесу обробки при регулюванні частоти коливань, що збурюють.

Теоретична модель процесу визначається опором пружного рідкого середовища коливанням деталі за рахунок відбору імпульсу у рухомого тіла елементами пружного середовища. Обробка на вищих гармоніках ефективніша, оскільки коефіцієнт поглинання збільшується. В процесі ЗВОПС в граничному шарі деталей протікають мікропластичні деформації і інші процеси, що призводять до зниження залишкової напруги і до дислокацій в поверхневому шарі. Отримується зміна шорсткості поверхні до оптимальної та підвищення поверхневої міцності на 10-25%. Експериментальним дослідженням обробки технічного алюмінію АД00 ГОСТ 4784-97 встановлено, що: твердість поверхневого шару підвищилась від (72...76)НВ до (81...84)НВ; шорсткість поверхні зменшилась від (5,0...6,3)Ra до (3,15...4,0)Ra; структура поверхневого шару отримала зменшення зерна й остаточних напруг на робочій поверхні й в тілі деталі при зменшенні власної частоти коливань на (150...200)Гц.

Метод ЗВОПС є прогресивним з погляду технологічних можливостей і якості обробленої робочої поверхні тертя, дозволяє використовувати менш громіздке устаткування, не використовувати абразив, досягати результатів при мінімальних витратах енергії, вживатися, як в основному, так і ремонтному виробництві деталей військових автомобілів схильних до підвищеного зносу.

1. Ковалевський С.В. Метод звукової вібраційної обробки та його експериментальні дослідження / С.А. Матвієнко, О.П. Сакно, О.В. Лукічов // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2013. – Вип. №41. Ч. 1. – С. 129-134.

## ПРО ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛІВ ТА ПРОЇЗДЖОЇ ЧАСТИНИ НА РЕЖИМ РОБОТИ СВІТЛОФОРНИХ ОБ'ЄКТІВ

### ABOUT THE INFLUENCE OF TECHNICAL STATE OF CARS AND OF THE CARRIAGEWAY ON THE OPERATING MODE OF TRAFFIC LIGHT OBJECTS

Євген Форнальчик, Володимир Гілевич

Національний університет «Львівська політехніка»,  
вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна.

*It was established that braking and traction properties deterioration directly influences the saturation fluxes at adjustable intersections and the delays of cars before them, so it is necessary to correct the duration of traffic light cycles.*

Відомо, що для встановлення рівня якості сучасного автомобіля може використовуватися понад 20 його властивостей, які оцінюють в середньому 160-ма показниками. Для практичних потреб для різних типів, марок і призначень автомобілів, які експлуатуються у різних умовах та режимах, обмежуються 10-15-ма показниками. Якщо йдеться, наприклад, про автобуси, які обслуговують міські маршрути, то, очевидно, потрібно вести мову не лише про властивості, що характеризують безпеку їх руху (гальмівну динамічність, керованість і стійкість), але і тягові властивості (розгінні швидкості, прискорення). Перші властивості автобусів у складі транспортного потоку (ТП), крім рівня безпеки, впливають (разом з габаритами) на їх динамічний габарит, другі – на потік насичення, особливо під час проїзду регульованих перехресть. Останнє напряму пов'язане з тривалістю світлофорного циклу, відтак із затримками транспортних засобів (ТЗ) перед перехрестями.

У разі зниження гальмівних властивостей ТЗ водій, з позицій небезпеки зіткнення з упереді ідучим автомобілем, збільшує «зазор безпеки». В результаті цього зростає динамічний габарит, що зумовлює для ТП різного складу (легкові, автобуси, вантажівки) ріст коефіцієнта зведення до легкового автомобіля. Цей коефіцієнт, як основний показник, використовують у визначенні зведеної інтенсивності ТП, на підставі якої розраховують тривалість світлофорного циклу.

Розгінні швидкості автобусів (вантажних ТЗ) відрізняються від таких для легкових ТЗ. Вони відчутно менші і у зв'язку з цим зменшують загальну швидкість проїзду перехрестя ТП. Відомо, що переважна більшість автобусів і вантажних ТЗ експлуатуються із зношеними двигунами (деталлями ЦПГ). Це у найбільшій мірі зумовлює зниження швидкостей проїзду перехресть. Транспортні потоки, у складі яких усі ТЗ з нормативними показниками тягової динамічності за час горіння зеленого сигналу світлофора проїдуть перехрестя більшою кількістю ТЗ, порівняно, якщо серед них є зношені ТЗ. Тобто у першому випадку потік насичення буде більшим, ніж у другому. В результаті отримують розбіжність між обґрунтованими для ідеальних умов ТП тривалостями світлофорних циклів з практично необхідними, які формують реалії структур ТП, складених з ТЗ різного технічного стану. Як наслідок – зростання затримок і черг ТЗ перед перехрестями. Аналогічні висновки можна зробити і щодо впливу технічного стану проїжджої частини перехрестя і в околі нього на потоки насичення та на тривалості світлофорних циклів.

Попередньо виконаними розрахунками та натурними дослідженнями впливу зношеності деталей ЦПГ двигунів вантажних ТЗ і автобусів на розгінні властивості їх встановлена потреба коректування режимів роботи світлофорів. Результати моделювання (з використанням програмного продукту VISSIM) режимів проїзду перехресть з різними нерівностями дорожніх покриттів транспортними потоками різних структур з різноманітним технічним станом їх показують реальні переваги над чинними методами визначення потоків насичення та тривалості світлофорних циклів, в основі яких нормативні сталі значення коефіцієнтів зведення учасників ТП до легкового автомобіля.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЛЕНАРНІ ЗАСІДАННЯ.....                                                                                                                                                                | 3  |
| <i>Назарчук З., Скальський В.</i> Вплив водню і технологічних чинників на об'ємну пошкодженість біметалів .....                                                                        | 3  |
| <i>Шульженко М.</i> Діагностування вібрацій, термоміцності і ресурсу вузлів теплоенергетичних агрегатів .....                                                                          | 4  |
| <i>Кушнір Р., Гачкевич О., Дробенко Б.</i> Оцінювання напруженого стану та експлуатаційного ресурсу елементів діючого енергетичного обладнання .....                                   | 4  |
| <i>Андрейків О., Кухар В., Яворська Н.</i> Залишковий ресурс трубок парогенератора реактора ВВЕР-1000 .....                                                                            | 5  |
| <i>Копилов В., Антоненко Д.</i> Оцінювання та взаємозв'язок характеристик адгезійної міцності, пружності та тріщиностійкості багатокомпонентних газотермічних покриттів .....          | 6  |
| <i>Ткачук М., Литвиненко О., Грабовський А.</i> Обґрунтування проектно-технологічних рішень для забезпечення тактико-технічних характеристик легкоброньованих машин.....               | 7  |
| <i>Рибак Т., Бортник І., Миць В.</i> Проектування металоконструкцій сільськогосподарських машин з урахуванням експлуатаційних факторів .....                                           | 8  |
| <i>Сіренко В., Харченко В.</i> Проблеми міцності при розробленні й експериментальному відпрацюванні об'єктів ракетно-космічної техніки .....                                           | 9  |
| СЕКЦІЯ 1. МОДЕЛЮВАННЯ, СИНТЕЗ І ОПТИМІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ .....                                                                                                           | 11 |
| <i>Боярський Д., Загорюлько А.</i> Комп'ютерне моделювання механізму мащення упорного колодкового підшипника ковзання.....                                                             | 11 |
| <i>Воробйов М., Прокопенко Д.</i> Геометричний синтез насоса кочення.....                                                                                                              | 11 |
| <i>Дівесєв Б., Мартин В., Дорош І.</i> Проектування динамічних гасників коливань для висотних споруд та подовгастих конструкцій .....                                                  | 12 |
| <i>Кіндрацький Б., Сушко І., Осмак О.</i> Система стабілізації положення штанги обприскувача .....                                                                                     | 13 |
| <i>Кіпрєєв Ю., Микитюк В.</i> Шляхи раціонального проектування сучасних зубчастих передач.....                                                                                         | 14 |
| <i>Майструк В., Гаврилів Р.</i> Визначення оптимальних геометричних розмірів циклонів зі спіральним направляючим апаратом за допомогою CFD-програм .....                               | 15 |
| <i>Малащенко В., Ніколайчук В.</i> Розрахунок та оптимізація конструктивних параметрів деталей з'єднань змінної жорсткості .....                                                       | 16 |
| <i>Малащенко В., Федик В., Матвійів Б.</i> Підвищення рівномірності затягування нарізевих з'єднань опорно-поворотного пристрою кранів .....                                            | 17 |
| <i>Мусійко В., Воцак Ю.</i> Модернізація роторної підкопувальної машини.....                                                                                                           | 18 |
| <i>Павленко І., Попруга П.</i> Програмний аналіз варіантів кінематичних схем промислових роботів .....                                                                                 | 18 |
| <i>Панчук А., Панчук В., Мельник В.</i> Розроблення САПР фільтри мундштука керамічного преса .....                                                                                     | 20 |
| <i>Пелешишин О.</i> Математична модель приводу багатодискової фрикційної муфти з електрогідравлічною системою керування .....                                                          | 21 |
| <i>Предко Р.</i> Умови забезпечення тягової здатності автоматично регульованої пасової передачі з самозатяжним кільцем .....                                                           | 21 |
| <i>Романчук І., Пасіка В.</i> Підвищення захисту рулононамотувальних приводів поліграфічних машин від динамічних навантажень .....                                                     | 22 |
| <i>Сологуб Б., Данило Я.</i> Розрахунок і оптимізація основних вузлів крісельних канатних доріг.....                                                                                   | 23 |
| <i>Стефанович Т., Щербовських С.</i> Модель надійності захисної арматури для посудини, яка працює під тиском, з урахуванням перерозподілу навантаження між запобіжними клапанами ..... | 24 |
| <i>Стрілець В., Стрілець О., Завальський В.</i> Напружений стан підковоподібних пружин пружних муфт із защемленими кінцями .....                                                       | 25 |
| <i>Стрілець О.</i> Напружений стан півжорсткої призматичної шпонки з замкнутими пружними ділянками на торцях .....                                                                     | 26 |
| <i>Струтинський С.</i> Окремі задачі проектування і виготовлення сферичних шарнірів для просторових систем приводів .....                                                              | 27 |
| <i>Чир І., Шинкаренко Г.</i> Умови стійкості однокрокової схеми для задачі динамічної термопружності .....                                                                             | 28 |
| Гріна-Ліндсея .....                                                                                                                                                                    | 28 |
| СЕКЦІЯ 2. ДИНАМІКА ТА МІЦНІСТЬ МАШИН .....                                                                                                                                             | 29 |

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Артим В., Джус А., Михайлюк В. Визначення міцності елементів системи морського транспортування газу за CNG-технологією методами імітаційного моделювання.....                         | 29 |
| Верещака С., Дейнека А. Термопружний напружений стан багатопарової труби з дефектами структури з різними умовами закріплення на торцях.....                                           | 30 |
| Долінська І., Ярема Р. Розрахункова модель визначення періоду докритичного росту повзучо-втомної тріщини в рамі візка електровоза .....                                               | 31 |
| Жульов О., Жульова І. Аналіз радіально-осьових коливань робочого колеса насоса з розвантажувальним пристроєм.....                                                                     | 32 |
| Лавінський Д., Морачковський О. Аналіз конструкційної міцності складених тіл за наявності електромагнітного поля.....                                                                 | 32 |
| Лепак О. Оцінювання міцності та ризику руйнування дефектомісткої ділянки магістрального газопроводу “Торжок - Долина”.....                                                            | 33 |
| Лісовенко Д., Загоруйко А. Експериментальні дослідження запірних торцевих імпульсних ущільнень .....                                                                                  | 34 |
| Пурдик В., Поздняков М. Визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску .....                                                                                | 35 |
| Рачкевич Р. Просторовий згин низу бурильної колони з опорно-центрувальним елементом .....                                                                                             | 36 |
| <b>СЕКЦІЯ 3. МЕХАНІКА РУЙНУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ І МІЦНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ</b> .....                                                                                                          | 38 |
| Войтович Л., Малержик М. Числовий перехід від напружень у фотов’язкопружній ортотропній моделі до напружень у натурному тілі.....                                                     | 38 |
| Гойсан І. Властивості композитних матеріалів у складі конструкцій комбінованого типу .....                                                                                            | 39 |
| Джус А. Вплив умов експлуатації на довговічність комбінованих конструкцій.....                                                                                                        | 40 |
| Івантишин Н. Мікромеханічна модель росту малих втомних тріщин.....                                                                                                                    | 41 |
| Корець В. Проблеми виконання ремонту магістральних трубопроводів вибіркоким способом.....                                                                                             | 41 |
| Марчук М., Пакош В., Харченко В. Математична модель процесу коливань та власні частоти шаруватих композитних пластин за дискретного розгляду складових.....                           | 42 |
| Огірко І., Юзевич В., Стацук Н. Застосування підходів реінжинірингу та ризикології для аналізу проектів щодо оцінювання залишкового ресурсу конструкцій нафтогазових устаткувань..... | 43 |
| Парайко Ю., Лях М., Лях Ю. Оцінювання якісного стану робочих поверхонь деталей бурового та нафтогазопромислового обладнання.....                                                      | 44 |
| Петрина Ю., Шуляр Б. Закономірності експлуатаційної деградації зварних з’єднань сталей магістральних газопроводів у наводнювальному середовищі.....                                   | 45 |
| Пороховський Ю. Оцінювання впливу залишкових напружень на міцність зварних оболонкових машинобудівних конструкцій з осьовими поверхневими тріщинами у зоні зварного шва .....         | 46 |
| Ракоча І., Попович В. Математичне моделювання та визначення термопружного стану двоскладового за осьовою координатою термочутливого циліндра за складного нагрівання .....            | 47 |
| Сердюк О., Сивак І., Савуляк В. Напружено-деформований стан в осередку деформації при втисканні тороїдального ролика.....                                                             | 48 |
| Сивак Р. Оцінювання пластичності металів при немонотонному навантаженні.....                                                                                                          | 49 |
| Сімінченко І., Сошко В. Ініціювання хімічних реакцій поверхні активного середовища при механічному руйнуванні.....                                                                    | 50 |
| Сулим Г., Піскозуб Л., Піскозуб Й. Дисипація енергії при циклічному зсувному навантаженні біматеріалу з міжфазними дефектами контакту з урахуванням тертя .....                       | 51 |
| Сулим Г., Пир’єв С. Термомеханічний критерій утворення частинки зношування для просторового напруженого стану.....                                                                    | 52 |
| Сулим Г., Пастернак Я., Томашівський М. Термопружність пошкодженого тріщинами анізотропного біматеріалу з неідеальним тепловим контактом складових .....                              | 53 |
| Штаюра Н. Деформаційний критерій руйнування тіл з тріщинами за пропорційного двовісного розтягу.....                                                                                  | 54 |
| Юхим Р., Лісничук А. Вплив домішок глини на міцність цементно-піщаного розчину.....                                                                                                   | 55 |
| <b>СЕКЦІЯ 4. МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА ІНЖЕНЕРІЯ ПОВЕРХНІ</b> .....                                                                                                                        | 57 |
| Бахматюк Б., Швачко Х., Проскурняк Р. Вплив азотування на корозійну тривкість титану BT1-0, отриманого методом порошкової металургії.....                                             | 57 |
| Войтович А., Гвоздецький В., Влах Р. Методика дослідження абразивного зношування наплавлених шарів.....                                                                               | 58 |

|                                                                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Гром'як Р., Стащук М., Дорош М.</i> Концентрація водню навколо крайової дислокації з пустотілим ядром .....                                                                               | 59 |
| <i>Іваськевич Л., Мочульський В., Гребенюк С.</i> Вплив водню на механічні властивості аустенітних сталей та сплавів.....                                                                    | 60 |
| <i>Криштопа С.</i> Єдине поле електротермомеханічної взаємодії поверхневих шарів металополімерних фрикційних пар .....                                                                       | 61 |
| <i>Луцак Д., Присяжнюк П.</i> Методика дослідження зносостійкості матеріалів та покриттів на основі сплавів заліза та тугоплавких сполук в умовах тертя по закріпленому абразиву.....        | 62 |
| <i>Петрина Д., Гоголь В., Гоголь М.</i> Оцінювання корозійно-водневої деградації сталей тривало експлуатованих резервуарів зберігання нафти .....                                            | 63 |
| <i>Плешаков Е., Швачко С., Сагайдак Н.</i> Вплив лазерного легування на зносотривкість сплаву ВТ22... 64                                                                                     | 64 |
| <i>Середа Б., Середа Д.</i> Отримання багатокомпонентних алітованих покриттів в умовах СВС .....                                                                                             | 65 |
| <i>Середа Д.</i> Отримання алітованих покриттів на сталях при нестационарних температурних умовах ... 65                                                                                     | 65 |
| <i>Сошко В., Сімінченко І., Ляшков В.</i> Утворення хімічних елементів у зоні подолання зчеплення між атомами металу в процесі різання в мастильно-охолодному технологічному середовищі..... | 66 |
| <i>Сошко О.</i> Про вплив оборотної адсорбції на процес руйнування металу.....                                                                                                               | 68 |
| <b>СЕКЦІЯ 5. НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МАШИНОБУДУВАННІ</b> .....                                                                                                                                  | 70 |
| <i>Гулієва Н., Самчук Л., Герасимчук Г.</i> Новітні технології отримання пористих проникливих матеріалів .....                                                                               | 70 |
| <i>Ляшков В., Петровський В.</i> Контактні взаємодії новоутвореної поверхні з навколишнім середовищем у процесі різання.....                                                                 | 71 |
| <i>Струтинський В., Юрчишин О.</i> Визначення похибок обробки деталей на багатокоординатних верстатах паралельної кінематики .....                                                           | 72 |
| <i>Шевчук Є., Сухоруков С., Сивак І.</i> Оцінювання впливу параметрів ротаційної витяжки осесиметричних деталей із листових заготовок на напружений стан в осередку деформації .....         | 73 |
| <b>СЕКЦІЯ 6. ЗВАРЮВАННЯ ТА СПОРІДНЕНІ ПРОЦЕСИ І ТЕХНОЛОГІЇ</b> .....                                                                                                                         | 74 |
| <i>Письменний О., Пентегов І., Римар С., Письменний О.</i> Індукційний нагрів зварних стиків товстостінних трубопроводів великого діаметра .....                                             | 74 |
| <i>Письменний О., Губатюк Р., Прокоф'єв О., Шинкаренко А.</i> Технологія високочастотного зварювання-паяння двошарових заготовок трубопроводів та посудин.....                               | 75 |
| <b>СЕКЦІЯ 7. ЗАСТОСУВАННЯ ВІБРАЦІЙ У ТЕХНІЦІ І ТЕХНОЛОГІЯХ</b> .....                                                                                                                         | 76 |
| <i>Гаврильченко О., Захаров В.</i> Обґрунтування параметрів вібромашини викінчувальної доводки.....                                                                                          | 76 |
| <i>Гурський В., Шпак Я.</i> Оптимальний синтез умов збурення двочастотних резонансних вібраційних машин .....                                                                                | 77 |
| <i>Іскович-Лотоцький Р., Міськов В.</i> Вібробуджувачі гідроімпульсного приводу з електромагнітними клапанами.....                                                                           | 78 |
| <i>Лях М., Федоряк Н., Вацаєв О.</i> Вплив характеру вібрації на ефективність роботи сепараційного обладнання бурової насосно-циркуляційної системи.....                                     | 79 |
| <i>Щурик В., Серілко Л., Багнюк Г.</i> Механічний пристрій для реалізації крутильної вібрації в роликівих та пасових центрифугах.....                                                        | 80 |
| <b>СЕКЦІЯ 8. МЕТОДИ І ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ</b> .....                                                                                                              | 81 |
| <i>Балицький О., Ріпей І., Гарда В.</i> Деякі проблемні аспекти діагностування згинів високотемпературних трубопроводів теплових електростанцій.....                                         | 81 |
| <i>Дзюбик А., Палаш В.</i> Визначення довговічності зварних з'єднань магістральних трубопроводів при наявності дефектів .....                                                                | 82 |
| <i>Дзюбик А., Дзюбик Л.</i> Міцність надземних багатопрогонних переходів трубопроводів з врахуванням пружних деформацій опор.....                                                            | 83 |
| <i>Кичма А., Савула Р.</i> Визначення категорійності ділянок труб за результатами внутрішньотрубною діагностики магістральних газопроводів .....                                             | 83 |
| <i>Почапський Є., Клим Б., Сімакович О.</i> Методика локації джерел акустичної емісії в тонкостінних циліндричних об'єктах .....                                                             | 84 |
| <i>Сергієнко О., Мельник Н.</i> Оцінювання сигналів магнетопружної акустичної емісії у феромагнетику, спричинених стрибками Баркгаузена.....                                                 | 85 |
| <i>Станкевич О.</i> Визначення типів макроруйнування стоматологічних полімерів.....                                                                                                          | 86 |
| <i>Шульженко М., Єфремов Ю., Цибулько В., Депарма О.</i> Розроблення нових засобів оперативного контролю вібропараметрів енергетичного обладнання .....                                      | 87 |

|                                                                                                                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| СЕКЦІЯ 9. ДІАГНОСТИКА І ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ КОНСТРУКЦІЙ ТА СПОРУД ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ .....                                                          | 89  |
| <i>Мазур М., Побережний Л.</i> Корозія трубопроводів під впливом газових гідратів .....                                                                              | 89  |
| <i>Ревенко А.</i> Прогнозування залишкового ресурсу зміцненої ін'єкційною технологією бетонної конструкції тривалої експлуатації .....                               | 90  |
| <i>Скальський В., Рудавський Д., Бас В.</i> Оцінювання залишкового ресурсу рами візка електровозу з втомною тріщиною .....                                           | 91  |
| <i>Стасюк Б.</i> Напружено-деформований стан магістрального трубопроводу, послабленого приповерхневою осьюовою тріщиною .....                                        | 91  |
| <i>Федорович І.</i> Оцінювання кінетики розвитку тріщиноподібних дефектів у стінках тривало експлуатованого газопроводу „Київ – Західна Україна” .....               | 92  |
| СЕКЦІЯ 10. ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ, ЕКСПЛУАТАЦІЯ І СЕРВІС ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ .....                                                                              | 94  |
| <i>Гащук П., Нікіпчук С.</i> Взаємозумовленість сили, плеча та коефіцієнта опору коченню колеса мобільної машини .....                                               | 94  |
| <i>Гелетій М.</i> Інноваційні форми та методика навчання при підготовці водіїв до експлуатації транспорту .....                                                      | 95  |
| <i>Єгоров О.</i> Концепт сучасного барже-буксирного складу для перевезень сухих вантажів з Дніпра на Дунай.....                                                      | 97  |
| <i>Жук М., Бойків М., Швергун А.</i> Аналіз тривалості реакції водія у різний час доби.....                                                                          | 97  |
| <i>Качмар Р.</i> Проблеми оцінювання екологічної безпеки автомобілів з різними енергоустановками на етапах їхнього життєвого циклу .....                             | 98  |
| <i>Нємий С., Бритковський В.</i> Розрахунок витрат пального для електростарного пуску автомобільних двигунів.....                                                    | 99  |
| <i>Нємий С., Нєма О.</i> Розрахунок ефективності впровадження нового технологічного обладнання на автотранспортних підприємствах.....                                | 100 |
| <i>Ніколаєнко В.</i> Розвиток крутильних коливань за відключення групи циліндрів.....                                                                                | 101 |
| <i>Оліскевич М., Бритковський В.</i> Дослідження енергоощадних способів керування автомобілем на магістралі .....                                                    | 102 |
| <i>Пельо Р.</i> Деякі аспекти автоматизації механічної трансмісії автомобіля .....                                                                                   | 103 |
| <i>Сахно В., Поляков В.</i> До порівняльного оцінювання стійкості руху триланкових автопоїздів різних компоновальних схем .....                                      | 104 |
| <i>Томей І., Тімофєєв С., Сакно О.</i> Поліпшення трибологічних характеристик робочих поверхонь пар тертя вузлів автомобільної техніки військового призначення ..... | 105 |
| <i>Форнальчик Є., Гілевич В.</i> Про вплив технічного стану автомобілів та проїжджої частини на режим роботи світлофорних об'єктів .....                             | 106 |

4-а Міжнародна науково-технічна конференція

**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА  
РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ  
І ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНОБУДІВНИХ  
КОНСТРУКЦІЙ**

Тези доповідей

Підписано до друку 20.10.14 р.  
Формат 60×84/8. Папір офсетний.  
Гарнітура «Таймс». Друк різнографією.  
Обл.-вид. арк. 8,65. Умов. друк. арк. 11,3.  
Зам. 0021.



ТзОВ «КІНПАТРІ ЛТД»  
79019, м. Львів, а/с 6758.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів  
видавничої продукції ЛВ № 39 від 10.08.2005.  
E-mail: [pnc\\_me@mail.lviv.ua](mailto:pnc_me@mail.lviv.ua)

Надруковано з готового оригінал-макета  
ПП «БУДХАТА»  
79013, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 38.

# **ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА РАЦІОНАЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ, ВИГОТОВЛЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИНОБУДІВНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

**Тези доповідей**

**ISBN 978-966-7585-16-7**