

Міністерство освіти і науки України  
Чорноморський державний університет імені Петра Могили  
Асоціація трибологів України  
Хмельницький національний університет  
Національний авіаційний університет



---

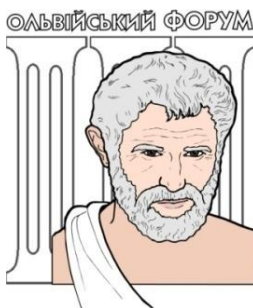
Науково-практична конференція

**«ТРИБОЛОГІЯ, ЕНЕРГО-  
ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ»**

**ТЕЗИ**

---

в рамках X Міжнародної науково-практичної конференції  
**«ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2016»**



**9–12 червня 2016 р.**  
**Миколаїв, Коблево, Україна**

Науково-практична конференція «Трибологія, енерго- та ресурсозбереження» (в рамках Міжнародної науково-практичної конференції «Ольвійський форум – 2016») : тези. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2016. – 64 с.

Метою конференції є обмін науково-технічною інформацією, напрацювання перспективних напрямків теоретичних та експериментальних досліджень в галузі трибології, енерго та ресурсозбереження. В матеріалах тез доповідей конференції розглянуті моделі і методи механіки контактної взаємодії поверхонь, методики проведення випробувань на тертя та зношування, способи досягнення потрібних властивостей поверхонь тертя завдяки зміцнюючому впливу та нанесенню покриттів, процеси що відбуваються в мастильному шарі, процеси самоорганізації в трибологічних системах, конструювання та методи розрахунку вузлів тертя.

Матеріали збірника можуть бути корисними для науковців, інженерно-технічних працівників, викладачів, студентів та аспірантів.

## НАУКОВА ШКОЛА ТРИБОЛОГІВ НАЦІОНАЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

### Історія становлення наукової школи «Тертя та зношування в машинах»

Наукова школа трибологів в Національному авіаційному університеті була започаткована в середині 50-х років минулого сторіччя,



*Борис Іванович Костецький*

коли у 1954р. на посаду професора, а потім завідувача кафедри «Технології металів та матеріалознавства» в той час Київського інституту інженерів цивільної авіації прийшов д-р техн. наук, професор Костецький Б. І.

За ініціативи професора Костецького Б. І. в інституті була створена проблемна лабораторія «Тертя, змащування та спрацювання» і започатковано новий науковий напрямок з дослідження фізико-хімічної механіки процесів тертя та зношування в машинах. Фундаментальні роботи професора Костецького Б. І. з теорії процесів структурного пристосування матеріалів під час тертя, механізму відкритого ним нормального окислювального виду зношування та класифікації видів зношування за зовнішніми ознаками знайшли загальне визначення. В різні часи Костецький Б. І. був заступником голови наукової ради з фізико-хімічної механіки АН УССР, членом Наукової ради з тертя та змащування при Президії АН УССР, головою секції Міжвідомчої республіканської науково-технічної ради з підвищення надійності і довговічності машин та споруд при Президії АН УССР, заступником голови комісії по розробці науково-технічного прогнозування з проблеми «Підвищення терміну служби і корисної дії машин за рахунок зниження зносу і зменшення втрат на тертя» при Держкомітеті Ради Міністрів СРСР з науки і техніки, членом редколегії багатьох наукових журналів і науково-технічних збірників. Під його керівництвом виконано і захищено 35 докторських та понад 60 кандидатських дисертацій.

Науковці школи сформулювали таку тезу про міцність шарів матеріалу контактуючих тіл: «Поверхнева міцність матеріалу не може

бути прямо пов'язана з властивостями вихідного матеріалу. Вона залежить від властивостей нової фази – вторинних структур, що утворюються з вихідного матеріалу шляхом його структурної перебудови та взаємодії із середовищем. Ця трансформація призводить спочатку до створення нової фази – істинного об'єкта руйнування, і тільки потім – до руйнування. У цьому й полягає корінна відмінність об'ємного та поверхневого руйнування і міцності».

Серед учнів і послідовників наукової школи професора Костецького Б. І. такі відомі вчені Національного авіаційного університету, як члени-кореспонденти НАН України: д-р техн. наук, професор



*Микола Лукич Голего*

Голего М. Л., д-р техн. наук, професор Аксьонов О. Ф., доктори технічних наук, професори Аляб'єв А. Я., Назаренко П. В., Шевеля В. В., Райко М. В., Запорожець В. В., якими було започатковано напрямки досліджень процесів захоплення металів в парах тертя (професор Голего М. Л.), фізико-хімічної механіки тертя та зношування металів у низько-молекулярних вуглеводних середовищах (професор Аксьонов О. Ф.) зношування металів при фреттинг-корозії, (професор Аляб'єв А. Я.), розробки реологічних моделей тертя (професор Шевеля В. В.), впливу напружено-пластичної деформації на процеси зовнішнього тертя і зносостійкість

(професор Назаренко П. В.), процесів утворення під час тертя самогенеруючих твердих змащувальних прошарків та їх впливу на довговічність пар тертя (професор Райко М. В.), дослідження процесів контактної взаємодії та міцності поверхневих шарів твердих тіл методом трибологічної ідентифікації (професор Запорожець В. В.).

За час існування в університеті наукового напрямку «Тертя та зношування в машинах» підготовлено 16 докторів наук та понад 150 кандидатів наук. Наукові праці фахівців наукової школи сприяли створенню трибології як науки і є визнаними науковою громадськістю як в Україні, так і закордоном. Завдяки цьому Національний авіаційний університет був і залишається одним із провідних осередків в галузі трибології.

## **Керівник, структура та основні напрямки досліджень наукової школи «Тертя та зношування в машинах»**

На даний час школу очолює д-р техн. наук, професор Кіндрачук М. В. Під керівництвом професора Кіндрачука М. В. та за його безпосередньою участю, ґрунтуючись на теоретичних уявленнях структурної теорії зносостійкості матеріалів, ведуться розробки теорії і практики створення нових сплавів і методів отримання оптимальних структур поверхонь тертя із використанням концентрованих джерел енергії. Запропоновано новий концептуальний підхід до створення композиційних сплавів і градієнтних покриттів евтектичного типу з високими триботехнічними властивостями.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень розроблено, захищено авторськими свідоцтвами та впроваджено в серійне виробництво ряд технологічних процесів отримання евтектичних покриттів різними фізичними методами (плазмове, детонаційне, газо-полум'яне, іонно-плазмове, електроіскрове, лазерне опромінення). В цих технологіях реалізована експериментально встановлена можливість створення в отриманих евтектичних покриттях комплексних структур, які поєднують області зі структурою литого та швидко охолодженого стану. Такі комплексні структурні стани отримано шляхом часткового лазерного переплаву покриття із вихідною (сформованою при напиленні) структурою тонкого конгломерату фаз, що дозволило у покритті поєднати властивості литого і швидко охолодженого стану і знаходити оптимум для конкретних умов експлуатації. Крім розробки покриттів, структура та фазовий склад яких формуються в умовах, наближених до рівноважних, розроблені технології формування покриттів у сильно нерівноважних умовах шляхом швидкісного охолодження при кристалізації з рідини. Розроблені евтектичні покриття в нерівноважному стані, як термодинамічні системи, самостійно пристосовуються до зовнішніх умов експлуатації, наприклад, тертя, мінімізуючи при цьому сумарний знос пари тертя. Сформовані евтектичні покриття та опрацьовані технології їх нанесення, впроваджені на ВАТ «Мотор Січ» і ДП ЗМКБ «Івченко-Прогрес» та ряді інших підприємств.

За період науково-педагогічної діяльності професором Кіндрачуком М. В. опубліковано понад 400 наукових праць, у тому числі 14 монографій, 7 підручників, 65 авторських свідоцтв та патентів. Є співавтором наукового відкриття у сфері трибології «Явище теплової стабілізації в металополімерних парах тертя». Він обраний академіком: Української академії триботехніки України (1997 р.) та Академії інженерних наук України (2003 р.). Підготував 2 докторів та 10 кандидатів

технічних наук. Є головою Наукової ради МОНУ за фаховим напрямом «Фізико-технічні проблеми матеріалознавства»; член експертної ради ДАК МОН України; член секції матеріалознавства Комітету з Державних премій України; головний редактор науково-технічного журналу «Проблеми тертя та зношування»; член вченої ради НАУ.

На сьогодні наукова школа об'єднує більш ніж 40 науковців університету, наукова діяльність яких пов'язана з дослідженням тертя та зношування в машинах. Серед них 7 докторів та 35 кандидатів наук.

Для проведення наукових досліджень колективом створена потужна експериментальна та технологічна база, яка постійно удосконалюється. Зокрема, працюють дві спеціалізовані лабораторії: навчально-дослідна з новітніх триботехнологій (керівник – проф. М. В. Кіндрачук) і науково-дослідна з нанотрибології (керівник – д-р техн. наук О. У. Стельмах). Постійно виконуються науково-дослідні роботи за держзамовленням та господарським замовленням з підприємствами та організаціями, проводиться підготовка докторантів і аспірантів. Дослідження проводяться за наступними основними напрямками:

- фізичне моделювання і дослідження процесів тертя та зношування деталей повітряних суден і авіаційних двигунів;
- дослідження трибологічних характеристик конструкційних матеріалів і захист покриттів та прогнозування їх працездатності у вузлах тертя;
- дослідження та розробка матеріалів і технологій формування покриттів при відновленні зношених деталей;
- дослідження впливу трибоелектрохімічних та трибомагнітних процесів на тертя та зношування прецизійних трибосистем;
- дослідження триботехнічних характеристик пар тертя в умовах граничного, еластогідродинамічного змащування та нестационарних режимах контактного навантаження;
- розробка наукових основ формування нанокомпозиційних градієнтних покриттів триботехнічного призначення;
- дослідження впливу напружено-деформованого стану на процеси тертя та зношування трибосистем;
- дослідження акустоємісійних ефектів при зовнішньому терті матеріалів;
- дослідження та встановлення оптимальних параметрів дискретної структури покриттів триботехнічного призначення;
- розробка методології акустоємісійної діагностики комплексного стану вузлів тертя;
- розробка наукових основ отримання наплавочних матеріалів з високою жаро- та зносостійкістю для деталей авіаційних ГТД для високих і надвисоких робочих температур.

Дослідження, що виконувались протягом останніх 3 років за спільними проектами з інститутами НАН України та проектами науково-технічного співробітництва закордонними науковими установами:

- З Інститутом надтвердих матеріалів НАН України дослідження в напрямку створення фізико-хімічних процесів підвищення працездатності різального інструменту формуванням зносостійких композиційних багатощарових покриттів;

- З Інститутом проблем матеріалознавства НАН України та підприємствами Мінпромполітики в рамках науково-технічної програми «Ресурс» проводяться роботи з розробки та впровадження технологій формування багатощарових покриттів для відновлення деталей з підвищеним зносом;

- Спільно з Інститутом проблем міцності НАН України та АНТК ім. О. К. Антонова розробляються способи і технологія формування дискретних градієнтних покриттів підвищеної несучої здатності та зносостійкості;

- Розробка наукових основ формування дифузійно-легованих та евтектично-оплавлених покриттів, отриманих з використанням концентрованих джерел енергії із нанокomпозиційною структурою градієнтного типу;

- Створення покриттів триботехнічного призначення з макро- та нанонаповнювачами.

#### **Основні наукові результати та доробки:**

- розроблено теорію структурного пристосування металів під час тертя (професор Костецький Б. І.).

- вперше проведено фундаментальні дослідження процесів схоплення металів в умовах зовнішнього тертя. Розроблено класифікацію видів схоплення та системний підхід вибору методів його запобігання (професор Голего М. Л.).

- розроблено методи підвищення зносостійкості трибосистем за рахунок підвищення змащувальної спроможності середовища шляхом введення протизношувальних присадок (професор Аксьонов О. Ф., с.н.с. Стельмах О. У.).

- встановлено механізм і закономірності впливу розчиненого в рідинах кисню на процеси тертя та зношування металів. На його основі розроблено ефективний метод підвищення зносостійкості трибосистем за рахунок створення в середовищі оптимальної концентрації кисню та підбору матеріалів пар тертя (професор Аксьонов О. Ф., професор Білянський В. П., с.н.с. Шепель А. Я.).

- встановлено механізм та досліджено процеси утворення під час тертя самогенеруючих твердих змащувальних прошарків та визначено

їх протизношувальні властивості (професор Райко М. В., професор Дмитріченко М. Ф.).

– створено нові зносо- і корозійно стійкі матеріали покриттів і технологія їх нанесення на деталі авіаційної техніки методом вакуумно-плазмових прискорювачів. За цикл цих робіт професору Назаренку П. В., професору Аксьонову О. Ф. та с.н.с. Макаркину О. К. було присуджено премію ім. І. М. Францевича НАН України.

– запропоновано нові підходи і алгоритми для розв'язання задач трибометрії, які стали основою для розробки методів і приладів оцінювання міцності вузлів трибоспряжень і успішно використанні під час створення сучасних матеріалів наднизької густини аерокосмічного призначення (професор Запорожець В. В.).

– на основі механізму внутрішнього тертя розроблено реологічну модель процесів тертя та зношування метало- та металополімерних систем і мастильних матеріалів (професор Шевеля В. В., професор Гладченко О. М.).

– запропоновано новий напрямок дослідження трибосистем та новий підхід до створення композиційних матеріалів і захисних покриттів на основі аналізу напружено-деформованого стану композиції під час тертя, термодинамічного аналізу та математичного моделювання взаємозв'язку процесів тертя та зношування із зовнішніми параметрами навантаження (професор Кіндрачук М. В.).

– розроблені методи оцінки триботехнічних характеристик мастильних матеріалів за допомогою автоматизованого триботехнічного комплексу (професор Мнацаканов Р. Г.)

– розвивається новий науковий напрямок трибології – «трибобіо-мінералізація», тобто досліджуються процеси взаємодії з поверхнею контакту трибоспряжень продуктів мінералоутворень, що спричиняє мікробна корозія (професор Лабунець В. Ф.)

– запропоновано теоретично і експериментально обґрунтовану реолого-кінетичну концепцію абразивної зносостійкості (професор Дворук В. І.).

За період діяльності наукової школи колективом науковців з проблем тертя та зношування в машинах видано понад 45 монографій та 27 підручників із споріднених за науковим напрямком школи навчальних дисциплін.

Колективом школи регулярно організуються і проводяться науково-технічні конференції. Так у 2008р. до 75-річчя кафедри «Машинознавства» та у 2013 р. до 80-річчя кафедри була проведена Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми машинознавства».



У 2010 р. проведена Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми трибології», присвячена 100-річчю від дня народження Б. І. Костецького. На конференції розглянуто не тільки актуальні проблеми теорії та практики оцінювання довговічності вузлів трибоспрямижень, але і підтримано створення координаційної ради України з цієї проблематики на базі Університету (головою ради обрано проф. М. В. Кіндрачука).

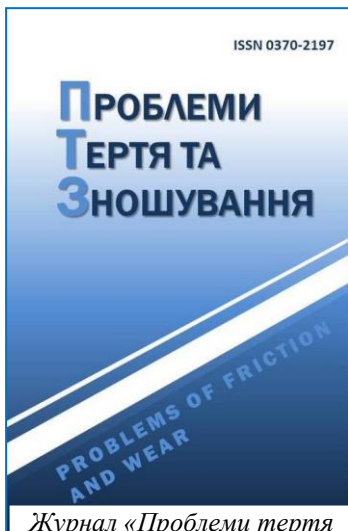


*Міжнародна науково-технічна конференція  
«Сучасні проблеми трибології», м. Київ, 2010 р.*

Співробітниками кафедри машинознавства регулярно видається з періодичністю видання 4 рази на рік науково-технічний журнал «Проблеми тертя та зношування» (головний редактор – Кіндрачук М. В.). Журнал включений до міжнародних науково-метричних баз Index Copernicus, РИНЦ, EBSCO, WorldCat, Google Scholar.

Колектив наукової школи створює належні умови та сприяє докторантам, аспірантам та науковцям в проведенні наукових досліджень та підготовці до захисту дисертаційних робіт.

Керівництво докторантами та аспірантами здійснюють професори Аксьонов О. Ф., Запорожець В. В., Кіндрачук М. В., Мнацаканов Р. Г., Дворук В. І., Кудрін А. П., Лабунець В. Ф.



*Журнал «Проблеми тертя та зношування»*

Фахівці наукової школи входять до складу спеціалізованої вченої ради для захисту докторських і кандидатських дисертацій із спеціальностей «Тертя та зношування в машинах» та «Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів», яка функціонує при Національному авіаційному університеті. Працює постійно діючий семінар з розгляду актуальних проблем трибології та представлених до захисту дисертаційних робіт.

З метою координації діяльності наукових колективів Університету з напрямку: тертя та зношування в машинах, рішенням Вченої Ради Національного авіаційного університету створено громадське об'єднання «Координаційна Рада Трибологів НАУ». Головне завдання Ради – сприяння розвитку фундаментальних і прикладних досліджень з питань трибології, наукової і технічної творчості співробітників, докторантів, аспірантів та студентської молоді для формування наукового потенціалу і подальшого розвитку в університеті наукової школи «Тертя та зношування в машинах».

Координаційною радою передбачено заходи: з організації проведення та участі в роботі Міжнародних науково-технічних конференцій, наукових читань, встановлення творчих зв'язків з провідними фахівцями та центрами України і зарубіжжя в галузі тертя та зношування в машинах, інформаційно-просвітницької діяльності школи, удосконалення матеріально-технічної бази, формування програм науково-дослідницьких робіт, сприяння впровадженню наукових розробок у виробництво, підготовка наукових кадрів та робота із студентською молоддю.

Постійно проводиться моніторинг науково-технічної продукції та досягнень з питань тертя та зношування в машинах, інженерії поверхні, новітніх технологій і методів дослідження та з їх врахуванням визначаються пріоритетні напрями фундаментальних і прикладних досліджень наукового колективу школи, а також тематика дисертаційних робіт аспірантів, докторантів та пошукачів.

Позитивною практикою підготовки наукових кадрів в школі стало також залучення до аспірантури працівників підприємств і організацій, які за напрямком своєї професійної діяльності пов'язані з питанням

підвищення зносостійкості триботехнічних систем машин і технологічного обладнання та відновлення зношених деталей. В цьому напрямку проводиться тісна співпраця з АНТК «Антонов», заводом «Авіант», «Авіаремонтним заводом 410ЦА», Конотопським авіаремонтним заводом «АВІАКОН» та Боярським ремонтно-технічним підприємством «Нафтогаз України».

*Рада трибологів НАУ*

# Секція ТРИБОЛОГІЯ

---

УДК 662.758.2

**Богатчук І. М.,**

*канд. техн. наук, доцент, с.н.с.,*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ, Україна*

**Прунько І. Б.,**

*канд. техн. наук, доцент,*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,  
м. Івано-Франківськ, Україна*

## **АНАЛІЗ ЗНОСУ ШТОКІВ НАСОСІВ УСТАНОВОК НАФТОГАЗОВОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАСПОРТУ**

Штоки, як об'єкт дослідження, є на сьогодні найменш вивчений із змінних деталей гідравлічних нафтопромислових насосів, про що майже відсутня інформація в науково-технічній літературі, і які потребують підвищення їхньої працездатності.

Для виявлення причин несправностей гідравлічних насосів, а також характерних видів зносу і руйнування штоків бурових насосів, була використана база нафтогазового комплексу Надвірнянського і Долинського нафтогазовидобувних управлінь.

Було досліджено 32 штоки різних гідравлічних насосів. Характерні види дефектів обстежених штоків наступні: прогин – 8; тріщини – 3; пошкодження і зрив різьби – 7; спрацювання поверхні штоків під ущільнення – 28. Деякі насоси мали по декілька дефектів.

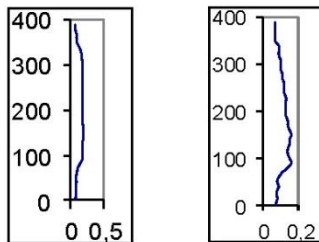
Дослідження геометричного профіля проводилось на штоках нафтопромислових насосів типу НБ-125 (9МГр-73), які працювали на нафтових родовищах за методикою наведеною в роботі Канарчука В. Є. (Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: [підручник]: [у 3 кн.] / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець. – К. : Вища шк., 1994. – Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. – 1994 – 599 с.). Форма циліндричних поверхонь характеризується циліндричністю, округлістю та профілем твірної повздовжнього перетину робочої поверхні штока.

Для досліджень використовувались центри з індикаторною стійкою та індикатором годинникового типу ИГ 0510 ГОСТ 577, мікрометр МК

25-50 за ГОСТ 6507 і штангенциркуль ШЦ-10-400 за ГОСТ 166. Відхилення робочих поверхонь від округлості вимірюють у місці, де в обох перерізах штока А-А і В-В значення зносу найбільше. Радіальний знос визначається за допомогою індикатора у 12 точках, методом поділу круглого січення штока на 12 рівних секторів.

Робоча частина штоку, яка знаходиться в парі з ущільненням починається на відстані  $l_1=65\text{мм}$  від буртика встановлення поршня насоса. Заміри профіля твірної повздовжнього перетину штока проводять у двох взаємно перпендикулярних перерізах А-А і В-В з кроком 10 мм уздовж робочої поверхні тертя штока в ущільненні. Розрахунок зносу штока проводимо в двох взаємно перпендикулярних перерізах А-А і В-В із тим же кроком 10 мм.

Діаграма зносу твірної у площинах поздовжніх перерізів А-А та В-В на довжині робочого ходу ( $l_2$ ) штока в ущільненні графічно зображена на рисунку 2.



**Рис. 1.** Знос штока на твірній довжини його ходу в ущільненні

Як видно з рисунку 2, найбільш інтенсивне зношування штока відбувається на початку зворотного робочого ходу, з боку закріплення його в повзуні, з'єданого з кривошипно-шатунним механізмом. Це явище нами пояснюється таким чином. Зерна абразиву заносяться під «губу» ущільнення і фіксуються в ній. Відбувається процес шаржування гуми абразивом. Крім того, тиск рідини спричиняє підвертання зерен абразиву разом із ущільненням. Тому, коли відбувається робочий хід штока ці зерна виконують роль пружнозакріплених різців, які і спричиняють інтенсивне зношування штока на цьому участку. Фактично відбувається явище мікрорізання.

При подальшому переміщенні штока кромки зерен притуплюються і руйнуються, а зерна прокручуються (провертаються). Тому подальший процес зношування штока є менш інтенсивним.

Вищенаведені викладки допоможуть оптимізувати розрахунки товщини наплавленого шару та припусків на послідууючу механічну

обработку при реставрації штоків насосів високого тиску, які встановлюються на НГТТ і запропонувати ефективний метод відновлення зношених штоків шляхом використання прогресивних технологій і надтвердих матеріалів, які наносяться на поверхню тонким шаром, а саме за допомогою електроіскрового нарощування і лугування.

УДК 621.9

**Боду С. Ж.,**  
*старший преподаватель кафедры инженерной механики и технологии машиностроения, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев, Украина*

### **ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Поиск путей экономии и снижения себестоимости производимой продукции может вестись по разным направлениям:

- снижение стоимости инструмента;
- увеличение стойкости, а значит, уменьшение количества инструмента, необходимого для обработки заданного количества деталей;
- использование более производительного инструмента (увеличение скорости механической обработки).

Для того, чтобы оценить перспективность каждого варианта, рассмотрим следующий пример.

Среднестатистическая доля стоимости инструмента в общей стоимости готовой продукции машиностроения составляет от 2,5 до 4 %.

Примерно 72 % приходится на станочные и цеховые расходы (заработная плата, амортизация оборудования, электроэнергия, погрузочные и транспортные расходы и пр.). Остальное – расходы, связанные с использованием СОЖ, затраты на отладку и настройку оборудования и пр.

Таким образом, даже двукратное снижение стоимости инструмента (4 % от общих затрат) дает только 2 % экономии.

Второй вариант (повышение стойкости инструмента) помогает сэкономить не только на стоимости инструмента за счет менее частой замены, но и на затратах, связанных с его переустановкой, переточкой и наладкой.

Третий вариант (использование более производительного инструмента) позволяет снизить станочные и цеховые расходы, которые и составляют основную долю себестоимости механической обработки.

Для сравнения стойкости инструмента были проведены сравнительные испытания твердосплавных фрез различных марок, материалов и ценовых категорий.

Режимы обработки, геометрия режущей части, применяемые оснастка и оборудование идентичны.

В качестве заготовок использовались твердосплавные столбики. Фреза *Iscar* использовалась с фирменной геометрией режущей части и покрытием, с последующей перешлифовкой.

Обрабатываемый материал – сплав *Inconel 718*, 331...363 *НВ*.

Станок *CAM5-850A4* с ЧПУ *NCT100M*.

В качестве СОЖ применялось трансформаторное масло.

Режимы обработки: скорость резания  $v_p = 8-16$  м/мин; частота вращения шпинделя  $n = 560$  об/мин; количество зубьев  $z = 4$ ; подача на зуб  $F_z = 0,06$  мм/зуб; глубина резания  $t_p = 2,0$  мм; минутная подача  $F_{мин} = 120-240$  мм/мин (программное значение при 5-осевой обработке).

Результаты испытаний показали следующие данные о стойкости инструментов.

Для сравнительной оценки влияния различных параметров на общую стоимость обработки произведены расчеты при следующих допущениях: фрезы конструктивно похожие: цельные твердосплавные концевые для фрезерования фасонной канавки  $r = 5$  мм, обрабатываемый материал – закаленная конструкционная сталь 50–55 *HRC*. Режимы работы (подача, глубина, скорость) выбраны по рекомендациям фирм-изготовителей.

Таблица 1

Сводная таблица испытания инструмента

Фреза	Марка материала	Производитель	Стойкость, мин	Примечание
<i>Iscar</i> <i>EBL100A22-4C10</i> – с покрытием	<i>IC900</i>	Израиль	180	С покрытием режущей части
<i>Iscar</i> <i>EBL100A22-4C10</i> – после перешлифовки без покрытия	<i>IC900</i>	Израиль	120	После перешлифовки сплав работал без покрытия
<i>Mitsubishi</i> <i>MP2MB</i>	ТС + многослойное покрытие ( <i>Al,Ti,Cr</i> ) <i>N</i>	Япония	105	Износ режущих кромок инструмента равномерный

Окончание табл. 1

Gühring GH 11 U	DK460UF, покрытие FIRE, стандарт Gühring	ФРГ	90	Сколы по режущим кромкам при увеличении вылета
Ting-S Hard Material	TF15	Китай	80	Визуально чистота поверхности выше, чем при обработке Gühring Mitsubishi

Расчет проводился при ряде упрощений и допущений: рассчитаны время и затраты на обработку условного элемента в условной детали, не учтены расходы на замену и перенастройку оборудования, на изменения в технологическом процессе, уменьшение расхода СОЖ при уменьшенном машинном времени и т. п.

Однако даже при таких упрощениях становится очевидной преобладающая роль производительности инструмента в сокращении стоимости механической обработки.

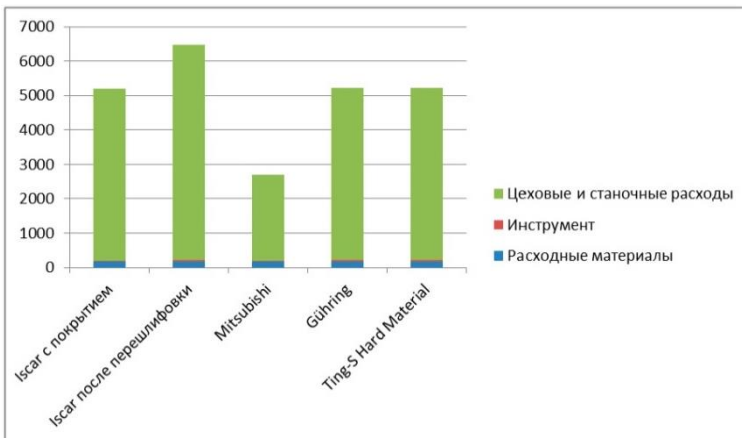


Рис. 1. Сравнительная стоимость механической обработки условной партии деталей при различной производительности инструмента



*Буря А. И.,  
канд. техн. наук, профессор,  
Днепродзержинский Государственный технический университет,  
м. Днепродзержинск, Украина*

*Арламова Н. Т.,  
Днепродзержинский Государственный технический университет,  
Днепродзержинск, Украина*

*Фен Сян-Мин,  
Северо-западный политехнический университет, Сиань, Китай*

*Цуй Хун,  
Северо-западный политехнический университет, Сиань, Китай*

### **ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ВОЛОКОН НА ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРЭФИРКЕТОНА**

Полиэфирэфиркетоны (ПЭЭК) представляют собой ароматические полимеры, мономолекулярные цепи которых построены из фениленовых циклов, карбонильных групп и атомов кислорода. ПЭЭК имеют уникальный комплекс эксплуатационных свойств (деформационная теплоустойчивость, термостойкость, огнестойкость, радиационная стойкость, низкое водопоглощение, диэлектрические и конструкционные свойства), что стимулировало их разработку и применение, несмотря на сложности переработки (температурные интервалы переработки 320–400°С) и высокую стоимость. Отличительная особенность ПЭЭК – его чрезвычайно высокая влагостойкость, в том числе стойкость к воздействию горячей воды и пара. По этим свойствам он превосходит все известные термопласты, в том числе полиэфирсульфон и полифениленсульфид.

Для улучшения эксплуатационных характеристик в состав ПЭЭК вводят дискретные углеродные волокна (УВ). Нами на основе ПЭЭК были разработаны наполненные композиции, содержащие 5–20 мас. % УВ. Пресскомпозиции состава: ПЭЭК + 5–20 мас. % углеродного волокна марки «Торейка» готовили путем смешения компонентов во вращающемся электромагнитном поле в присутствии ферромагнитных частиц. Переработку приготовленной таким образом смеси в блочные изделия осуществляли методом компрессионного прессования.

Структуру материалов изучали на растровом электронном микроскопе высокого разрешения JEOL JSM-6460 LV на цилиндрических образцах диаметром  $\varnothing = 15$  мм и высотой  $h = 3 \div 5$  мм.

Исследование трибологических свойств (износа, коэффициента трения и температуры в зоне контакта) в режиме сухого трения осуществляли на дисковой машине трение по пленке переноса и по исходной поверхности контртела. Для исследований использовали образцы диаметром  $\varnothing = 10$  мм и высотой  $h = 12$  мм.

Учитывая то, что одной из основных отраслей использования разработанных углепластиков является машиностроение, в частности детали подвижных сочленений – особое внимание было уделено изучению трибологических характеристик, так как это дает возможность предсказать грузоподъемность узла трения, укомплектованного деталями из углепластиков. Результаты трибологических характеристик представлены в табл. 1.

Таблица 1

**Трибологические свойства ПЭЭК и УП на его основе**

Содержание УВ, масс. %	Коэффициент трения				Износ, мг				Температура в зоне контакта с поверхностью контртела, °С
	по исходной поверхности контртела	по пленке переноса			по исходной поверхности контртела	по пленке переноса			
		300	400	500		300	400	500	
0	0,25	0,24	0,19	0,19	1,96	1,17	0,83	0,62	112
5	0,15	0,11	0,10	0,10	0,24	0,63	0,20	0,28	35
10	0,18	0,16	0,15	0,13	0,24	0,22	0,22	0,15	43
15	0,22	0,11	0,10	0,10	0,26	0,33	0,17	0,27	54
20	0,31	0,24	0,23	0,21	0,22	0,40	0,58	0,57	55

Анализ данных, представленных в таблице 1, свидетельствует о том, что армирование ПЭЭК УВ сопровождается существенным улучшением триботехнических характеристик. В частности, при введении 5–15 масс.% волокна в полимерную матрицу коэффициент трения снижается при работе образцов в паре с исходной стальной поверхностью

и при наличии на ней пленки переноса в 1,14–1,67 и 1,8–1,9 раза, соответственно. Что касается износа, то он снижается еще в большей мере, а именно в 7,5–8,9 и 1,1–4,1 раза, соответственно. С одной стороны, это объясняется более высокими прочностными свойствами разработанных УП, чем у исходного ПЭЭК; с другой – они имеют в 1,3–1,7 раза выше теплопроводность, что, согласно усталостной теории износа предотвращает локализацию тепла в зоне трения и термомеханическую деструкцию полимеров.

Исходя из полученных данных, пленка переноса играет чрезвычайно важную роль обеспечивая снижение и стабилизацию как антифрикционных свойств, так и износостойкости. Это можно объяснить следующим образом: в процессе изнашивания образуются мелкодисперсные продукты износа, заполняющие микровпадины на поверхности контртела, при этом трение реализуется уже не по стали, а по продуктам износа. Это подтверждается и изучением поверхности трения разработанных УП. С помощью растрового электронного микроскопа обнаружено, что при истирании УП образуется гладкая стекловидная поверхность, на которой отчетливо видны хаотически распределенные волокна и полосы пропахивания.

В отношении количества УВ, можно отметить, что оптимальным является содержание 5–15 масс. %. Увеличение количества волокна в композиции до 20 масс. % приводит к ухудшению исследуемых характеристик, что по видимому обусловлено разрыхлением композитов по границе раздела полимерное связующее – углеродное волокно.

УДК 621.891

*Диха О. В.,*

*д-р техн. наук, профессор,*

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

*Скрипник Т. К.,*

*старший викладач,*

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МІДВМІСНИХ ДОДАТКІВ ДО ОЛИВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ТРИБОСИСТЕМ КОВЗАННЯ**

Механізм утворення шарів із зниженим тертям на поверхнях деталей машин за рахунок олиव із додатками порошків металів все більше привертає увагу дослідників.

При цьому модифікований верхній шар сприяє зменшенню тертя та зносу деталей трибосистем. Найчастіше на практиці використовують декілька типів порошків: Cu, Al, Pb, Fe, латуні та інші.

Незважаючи на цілий ряд наукових робіт, проблема пояснення механізму дії порошків металів у зоні тертя залишається відкритою. Спочатку за причину зниження опору руху приймали зміну виду тертя з ковзання на кочення. Вважалось, що сферичні частинки металів розділяють поверхні змінюючи ковзне контактування верхівок нерівностей на перекочування за участю третього тіла – сферичних частинок металів. Але ця гіпотеза не знайшла експериментального підтвердження, оскільки частинки металів інших форм також виконували функцію змащувальних додатків.

Останні роботи показують, що механізм зменшення опору переміщенню та зносу із застосуванням олів з додатками порошків металів, полягає у модифікації верхнього шару в процесі тертя.

У роботі встановлено, що найбільше зниження коефіцієнту тертя отримано при самому більшому навантаженні і швидкості ковзання. Тобто для ініціалізації механізму зменшення опору руху потрібно підведення енергії в трибосистему. Також встановлено, що із ростом твердості частинок міді зростає ефективність змащування, вантажопідйомність мастильного шару та зменшується знос елементів, що труться. Процес утворення шару низького тертя має динамічний характер та залежить від ходу процесу тертя.

При використанні добавок порошків металів у змащувальній композиції має місце також ремонтно-відновлювальний ефект. Результати спостережень за допомогою скануючої мікроскопії наведені в роботі. Було встановлено, що зміна морфології порошку міді є наслідком дії високої температури.

Дослідження, представлені в роботі показують механізм збільшення твердості верхнього шару в результаті використання порошку латуні. Аналіз показав, що верхній шар поверхні тертя складається при цьому із сполук Cu, Zn и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і має значно більшу твердість ніж основа.

Крім того, помітили модифікацію верхнього шару через збагачення киснем, тобто в процесі тертя частинки металу піддаються не тільки деформації, але й окисненню.

Отже, результати експериментів підтверджують створення поверхневих шарів із зниженим опором тертю за рахунок використання добавок порошків металів у змащувальній композиції. При цьому механізмами дії цих добавок є: пластична деформація, температурне зчеплення та окиснення.

У цьому дослідженні проаналізована ефективність використання мідьвмісної присадки до моторної оливи за критерієм підвищення протизносних властивостей досліджуваних сталевих зразків.

У результаті проведених досліджень отримано наступне.

1. Проведений аналіз досліджень по використанню металевих порошків як добавок до моторних оливок та встановлені механізми протизносної та антифрикційної дії таких добавок.

2. Проведені лабораторні випробування на знос за схемою «конустри кульки» з урахуванням впливу температури моторної оливи та навантажень. Результати випробувань використані для визначення кількісних параметрів зносостійкості.

3. Розрахунково-експериментальним підходом визначений оптимальний вміст мідьвмісної присадки до оливи за критерієм найменшої інтенсивності зношування. Для різних температурних і навантажувальних режимів це значення складає близько 2 %.

4. Отримана процедура побудови та ідентифікації запропонованої моделі зношування рекомендується для кількісного порівняння ефективності технологічних та конструкторських способів покращення трибологічних властивостей конструкційних матеріалів та технічних оливок.

УДК 621.891

**Кіндрачук М. В.,**

*д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри машинознавства,  
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

**Гуменюк І. А.**

*здобувач кафедри машинознавства,  
Національний авіаційний університет, м. Київ, Україна*

**Панарін В. Є.,**

*д-р техн. наук, с.н.с., зав. лабораторії,  
Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Україна*

**Катерленко В. Є.,**

*канд. техн. наук, с.н.с.,  
Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Україна*

## **ФОРМУВАННЯ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАЕВТЕКТИЧНИХ СПЛАВІВ НА ОСНОВІ ЗАЛІЗА З ТУГОПЛАВКИМИ БОРИДАМИ**

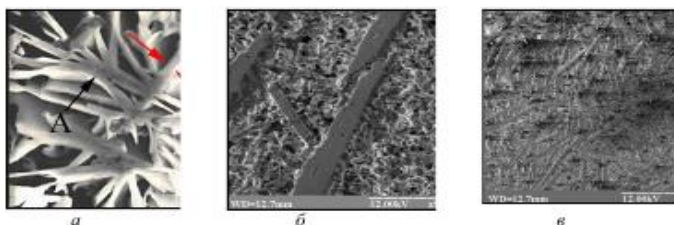
Визначення основних напрямів досліджень при створенні нових заевтектичних сплавів систем, вміщуючих евтектику на основі пере-

хідних металів із фазами втілення, які б мали більш високі триботехнічні властивості ніж чисто евтектичні сплави тих же систем. Основним критерієм оцінки перспективності пропонуваного напрямку створення нових заевтектичних сплавів є дослідження їх структури в литому стані та кількісні порівняння із структурами чисто евтектичних сплавів.

У якості об'єктів дослідження було обрано литі сплави квазіподвійної системи Fe-CrB<sub>2</sub> евтектичного типу, яка є відповідним політермічним перетином потрійної системи Fe-Cr-B. Сплави із вмістом CrB<sub>2</sub> (ваг. %): 2,5 (доевтектичний), 7,5 евтектичний та 11 (заевтектичний) виготовлено у вакуумній дуговій печі на мідному водоохолоджуваному поді невитратним вольфрамовим електродом в атмосфері аргону. Швидкість охолодження сплавів знаходилася на рівні 10<sup>2</sup> °C.

Із зливків вагою 40 гр вирізалися електроди розміром 2×2×30 мм для нанесення покриттів електроіскровим методом. Оскільки метод електроіскрового легування дозволяє реалізувати в покритті швидкості охолодження порядку 10<sup>4</sup> °C, це дозволило зменшити дифузійну рухомість атомів перед фронтом кристалізації порівняно з литим станом, і тим самим подрібнити структуру. Структурні дослідження виконано на растровому електронному мікроскопі в режимі вторинних електронів. Кількісну обробку зображень структури виконано із застосуванням програми Image-Pro.

На рис.2, а представлено структуру евтектичних кристалів CrB<sub>2</sub>, в системі сплавів Fe-CrB<sub>2</sub>, які являють собою пласкі кристали А з середньою товщиною (h) в одиниці мікрон. Оскільки залізна матриця сплаву витравлено, то на РЕМ зображенні місце, де вона була розташована, виглядає як порожнеча (В).



**Рис. 1.** Структура евтектичних кристалів CrB<sub>2</sub> в системі Fe-CrB<sub>2</sub> (а), первинних кристалів в литому сплаві із вмістом CrB<sub>2</sub> 11ваг. % (б), та первинних кристалів в електроіскровому покритті із того самого заевтектичного сплаву (в). РЕМ

У заевтектичному сплаві з 11 ваг. % CrB<sub>2</sub> в литому стані первинні кристали CrB<sub>2</sub> мають великі розміри: товщина – десятки, а довжина –

сотні мікрон (за результатами комп'ютерної обробки зображень в програмі Image-Pro). При збільшенні швидкості охолодження на два порядки, у електроіскровому покритті, первинні кристали того ж самого сплаву зменшуються – товщина становить одиниці, а довжина десятки мікрон. Розміри евтектичних кристалів також зменшуються через збільшення кількості базових кристалів, із яких починається зародження евтектичних колоній. Слід зазначити, що збільшення швидкості охолодження суттєво не зменшує співвідношення між розмірами первинних та евтектичних кристалів в литому стані та в покритті. Але загальна диспергація структури, тобто зменшення розмірів як евтектичних так і заевтектичних кристалів позитивно відбивається на зберіганні властивостей на високому рівні, в тому числі триботехнічних. Можна очікувати, що збільшення вмісту зміцнюючої фази у заевтектичних сплавах системи Fe-CrB<sub>2</sub> з 7,5 до 11 ваг. % та одночасним подрібненням розмірів як евтектичних так і заевтектичних кристалів, відповідно до сучасних уявлень трибології, призведе до підвищення зносостійкості у порівнянні з чисто евтектичними сплавами тієї ж системи. Цей прогноз можна поширити на боридвміщуючі евтектичні системи на основі перехідних металів, які являють собою політермічні перетини відповідних потрійних систем, оскільки між ними не існує принципових відмінностей з точки зору формування оптимальної структури для досягнення високої зносостійкості. У заевтектичних сплавах таких систем механізм кристалізації, тобто формування структури, однотипний – фази втілення формують зміцнюючий каркас, який сприймає основне навантаження при деформації в зоні тертя, і це обумовлює високі триботехнічні характеристики.

#### **Висновки:**

1. Досліджено структурні зміни в заевтектичному сплаві квазіподвійної системи Fe-CrB<sub>2</sub> в електроіскровому покритті у порівнянні з литим сплавом того ж складу. Показано, що збільшення швидкості охолодження, яке досягається в електроіскровому покритті з 10<sup>2</sup> °C до 10<sup>4</sup> °C, призводить до диспергації як евтектичних так і первинних кристалів фази втілення CrB<sub>2</sub>.

2. Прогнозується підвищення триботехнічних характеристик (зокрема зносостійкості) дослідженого заевтектичного сплаву при збільшенні швидкості охолодження у порівнянні з литим станом, завдяки збільшенню кількості зміцнюючої фази та зменшенню розмірів кристалів.

3. Обґрунтовується правомірність перенесення отриманих результатів, щодо диспергації структури і підвищення триботехнічних властивостей досліджених сплавів, на більш широкий круг сплавів квазіподвійних заевтектичних систем на основі перехідних металів з фазами втілення.

*Кротик И. А.,  
старший преподаватель кафедры инженерной механики и технологии  
машиностроения, Национальный университет кораблестроения  
имени адм. Макарова, г. Николаев, Украина*

*Боду С. Ж.,  
старший преподаватель кафедра Инженерной механики и технологии  
машиностроения, Национальный университет кораблестроения  
имени адм. Макарова, г. Николаев, Украина*

## **ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ НА РЕСУРС ДИЗЕЛЕЙ**

Содержание в топливе серы, золы, ванадия, натрия, кокса, алюмо-силикатов, механических примесей, воды вызывает различные виды коррозии, приводит к образованию всевозможных отложений, уменьшает сроки эксплуатации и межремонтные периоды элементов дизеля – элементов топливной аппаратуры, цилиндропоршневой группы и особенно сопловых отверстий, которые имеют малые сечения, а поэтому под воздействием избыточного давления скорость истечения достигает звуковой.

Чем более гладкая поверхность отверстия распылителя, тем меньше вероятность «зацепиться» на ней находящимся во взвеси топлива примесям, а значит, снижается возможность образования облитерации (коксования) отверстия.

Проблема повышения точности и качества поверхности отверстий малых диаметров (от 0,1 до 1,0 мм) вызывает серьезные проблемы для технолога. Традиционно для обработки таких отверстий используют сверлильные станки с фиксированным регулируемым моментом сверления. Тем не менее, эта мера не гарантирует безопасность режущего инструмента и, самое главное, не обеспечивает достаточного качества обработанной поверхности. Недостаточная шероховатость обработанной поверхности требует применения «выглаживания» с помощью про-качки масла с абразивом по отверстиям, причем без гарантии обеспечения круглости и цилиндричности, или электрохимического травления.

В результате избирательного растворения, т. е. большей скорости растворения выступов, микронеровности сглаживаются и поверхность детали приобретает характерный металлический блеск. Полирование таким образом не избавляет обработанную деталь от забоин, царапин и других дефектов силового воздействия на нее в процессе механической обработки лезвийным инструментом, следовательно, в соплах могут



остаться участки, которые послужат в дальнейшем очагами начала коксования отверстия, нарушив качество и однородность распыления, дальноточность и конусность факела топлива, и, как результат, полноту сгорания, характер отвода тепла за цикл.

В большинстве случаев это ведет к ухудшению сгорания и растягиванию его во времени, что в свою очередь вызывает повышение теплоотвода, увеличение потерь на недогорание, разрушение отверстия сопла на выходе, снижение индикаторного и эффективного КПД.

Сопло форсунки из-за большой скорости протекания топлива через отверстия и наличия в нем твердых частиц изнашивается – увеличивается диаметр, а на выходных кромках отверстий образуются неровности в виде зазубрин. Уже после 500–600 часов работы сопла диаметр сопловых отверстий увеличивается на 9...10 мкм, но нарушений формы отверстий за это время не обнаруживается.

Правильная цилиндрическая форма отверстий нарушается вследствие большой разницы скорости обработки отверстий в отдельных местах по причине неоднородности металла, некачественного сверления или прошивки электроискровым способом. Искажение формы отверстий вызывает искажение форма факела распыляемого топлива, что ухудшает процесс смесеобразования и процесс горения. Двигатель начинает работать с дымным выхлопом, увеличивается расход топлива. Вследствие износа отверстий сопла форсунки, изменяется расход топлива через сопловые отверстия.

Наиболее прогрессивными, на сегодняшний день, технологическими приемами, с помощью которых можно получить высокое качество обработанных сопловых отверстий являются:

- анодно-механическое полирование (шероховатость  $0,08 \div 0,02$  мкм по Ra),
- электрохимическое хонингование (шероховатость  $0,16 \div 0,02$  мкм по Ra);

Кроме того, необходимы инструменты-электроды, с помощью которых можно было бы исполнить подобные технологические операции, которые в отличие от традиционных процессов механической обработки резанием, когда сверло, оказывая силовое воздействие на обрабатываемую поверхность, образует на ней деформированные (напряженные) слои металла, электрохимическая обработка не вызывает в поверхностных слоях обрабатываемого металла каких-либо механических напряжений, что в ряде случаев положительно сказывается на качестве обрабатываемых поверхностей.

Распылители форсунок должны иметь твердость до 60 HRC для сопротивления износу от прокачиваемого топлива. А поэтому по

традиционной технологии отверстия сверлят, деталь термообрабатывают, а затем шлифуют. С помощью ЭХО можно обрабатывать отверстия в размер в материалах любой твердости, лишь бы они были электропроводны. Для нашего конкретного случая более подойдет координатно-прошивочный электроэрозионный станок фирмы «Fine Sodick» мод А30R с точностью обработки  $\pm 0,005\text{мм}$  и шероховатостью обрабатываемой поверхности –  $0,01\text{мкм}$  по *Ra*.

УДК 621.891

**Кубич В. И.,**

*канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина*

**Юдиценко А. В.,**

*студент 4-го курса транспортного факультета, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина*

**Блощинская Н. В.,**

*студентка 4-го курса факультета компьютерных наук, Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина*

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ДИАМЕТРАЛЬНОГО ИЗНОСА ГИЛЬЗЫ ЦИЛИНДРА ДВС**

Многофакторностью влияния на трибологическое состояние контакта деталей сопряжения «кольцо-гильза цилиндра», определен вид математической модели, которая позволяет получать расчетные значения интенсивности изнашивания гильзы цилиндра в зависимости от угла поворота кривошипа. В соответствии с этим дается прогнозная оценка ее износа по пробегу автомобиля. При этом данные о порядке математического соотношения учитываемых величин, определяющих связь пути трения верхнего поршневого кольца и пробега автомобиля (наработки других машин с ДВС) во время работе двигателя на различных эксплуатационных режимах их использования, не приведены. Открытым остается вопрос о возможности получения поверхности отклика для интенсивности изнашивания с одновременным учетом и частотного диапазона работы двигателя при компьютерном моделировании двухфакторного пространства. Такой подход позволит давать более достоверную и объективную оценку закономерностям изнашивания контактируемых поверхностей с учетом установившихся и неуставившихся эксплуатационных режимов нагружения по мере израсходования ресурса до некоторого предельного технического

состояния. Например, в соответствии с различными частотами вращения коленчатого вала  $n_1 - n_5$  возможно формировать соответствующие массивы данных для значений нормальной силы  $N$ , нагружающей гильзу цилиндра, и, соответственно, совокупность графиков  $I_i = f(\varphi_i)$ . Из полученных данных соответствующий оператор математического программирования может брать необходимые значения интенсивности изнашивания для последующего расчета диаметрального износа. И, как результат, на выходе ожидается графическая модель двухфакторного пространства  $I_i = f(n_i, T_m)$  для каждого интересующего сечения гильзы. В соответствии с математической моделью реализован программный продукт с использованием языка программирования C++ с дополнительным использованием библиотек Qt. В качестве среды разработки использовался Qt Creator версии 5.5. Отличительной чертой в составленном алгоритме расчета является:

- выбор одного из условий контактирования: «жесткая сфера внедряется в упругое полупространство» и «жесткая сфера внедряется в пластическое полупространство»;

- выбор расчета диаметрального износа в соответствии с обобщенным скоростным режимом работы ЦПГ и при долевом выражении наработок изделия на соответствующей частоте вращения коленчатого вала, имеющей вероятностный характер изменения.

В соответствии с обобщенным по скоростному режиму работы ЦПГ диаметральный износ  $\Delta_D$  (мкм) гильзы цилиндра предлагается определять в соответствии с выражением:

$$\Delta_D = I_i \cdot L_{тр} = I_i \cdot 0,036 \left[ L - h_{вк} - \frac{L}{180} (\varphi_{\min} - 180) \right] \cdot n \cdot T_m$$

где  $I_i$  – интенсивность изнашивания гильзы цилиндра, рассчитанная в соответствии с предложенной в работе математической моделью, при этом используется значение для соответствующего сечения гильзы ( $i$ -й угол поворота кривошипа);  $L_{тр}$  – путь трения верхнего поршневого кольца, мм;  $n$  – частота вращения коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ . Для расчета используется численное значение двойственного содержания. С одной стороны – это значение, при котором производится динамический расчет двигателя, и определяются значения нормальной силы  $N$ . С другой стороны – это усредненная частота, характерная для основного времени использования по назначению изделия. Например, в модели эксплуатации дизеля грузового автомобиля в городских условиях  $n_{cp} = 0,47n_n$  в модели эксплуатации дизеля зерноуборочного комбайна  $n_{cp} = 0,79n_n$ , в модели эксплуатации дизелей сельскохозяйственных колесных и гусеничных тракторов  $n_{cp} = 0,9n_n$ ;  $T_m$  – прогнозная наработка, при которой оценивается диаметральный износ,

мин;  $L$  – значение хода поршня цилиндра двигателя соответствующего изделия: автомобиль; трактор; комбайн и др., мм;  $\varphi_{min}$  – значение угла поворота кривошипа при последнем значении минимальной интенсивности изнашивания (в соответствии с графическими расчетными зависимостями). Например, для представленной в работе графической зависимости  $\varphi_{min} = 244^\circ$ .

С учетом долей работы ДВС на различных скоростных режимах и средней продолжительности времени работы на них диаметральный износ  $\Delta_D$  (мкм) предлагается рассчитывать в соответствии с выражением:

$$\Delta_D = 0,036 \cdot 10^6 L_{тр} n_n T_m \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i I_{hi} = 0,036 \cdot 10^6 \left[ L - h_{вк} - \frac{L}{180} (\varphi'_{min} - 180) \right] n_n T_m \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_i I_{hi}$$

где  $\alpha_i$  – доля времени наработки  $T_m$  на  $i$ -м скоростном режиме, например  $\alpha_i = 0,1; 0,4; 0,2; 0,3$  на режимах  $0,22 n_n; 0,46 n_n; 0,71 n_n; 0,57 n_n$ ;  $\beta_i$  – доля частоты вращения коленчатого вала ДВС на соответствующем скоростном режиме;  $n_n$  – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $I_{hi}$  – долевая интенсивность изнашивания при соответствующей частоте вращения, соответственно на скоростных режимах  $0,22 n_n; 0,46 n_n; 0,71 n_n; 0,57 n_n$ .

УДК 621.892.8

**Мандзюк И. А.,**

*д-р техн. наук, профессор,*

*Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий, Украина*

**Присяжная Е. А.,**

*асpirант,*

*Хмельницкий национальный университет, г. Хмельницкий, Украина*

## **РАЗРАБОТКА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ «ЗЕЛеноЙ ТРИБОЛОГИИ»**

Прогресс в окружающем нас мире немислим без развития машин и оборудования. Из года в год увеличивается их общее количество и удельная мощность. Наблюдается явная тенденция ужесточения режимов их эксплуатации, рост количества расходуемого топлива, смазочного материала и запасных частей

По данным ООН, более трети вырабатываемой в мире энергии идет на преодоление сил трения, а четверть вырабатываемого металла расходуется только на восстановление потерь, связанных с износом деталей и узлов в машинах. В условиях тенденции к истощению топливных и

материальных запасов, значительно возрастают требования к надежности и долговечности машин.

Трение и износ, как явления сопровождающие взаимодействие поверхностей при их взаимном движении, являются «экологическими» понятиями уже по своему определению, поскольку трение приводит к рассеянию энергии и износу, избежать, или уменьшить которые, и призвана трибология в целом и «зеленая трибология» в частности.

Одной из парадигм «зеленой трибологии» является использование в узлах трения машин и механизмов смазочных материалов на основе природных растительных и животных масел и жиров. Экологические преимущества, которых перед минеральными и синтетическими, состоят в возобновляемости сырья, нетоксичности, биологической разлагаемости после использования, высоких триботехнических показателях.

Нами изучена возможность целенаправленного изменения свойств природных жиров, как основ получения смазочных материалов, путем применения технологий рециклинга отходов полиэтилентерефталата. В результате разработанной технологии синтеза получены ПЕТ-ацилглицериды природных жиров – говяжьего, куриного, рапсового. Полученную серию продуктов изучали как основу разработки консистентных смазок.

ИК-спектры (IRAffinity-1 фирмы Shimadzu), хроматография показали, что меняя соотношение исходных компонентов, технологические и рецептурные факторы, при проведении синтеза можно получать (ПЕТ1-ацилглицериды, ПЕТ2-ацилглицериды) основы с величиной динамической вязкости ( Брукфилд САР 2000+) от 300 до 5000 мПа\*с.

Результаты триботехнических испытаний (ЧШМ– 1) представлены в таблице 1.

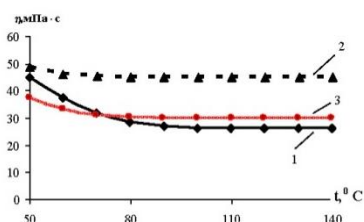
*Таблица 1*

<b>Материал</b>	<b><math>P_{кр}</math>, Н</b>	<b><math>P_{св}</math>, Н</b>	<b>Индекс задира</b>	<b>Коэффициент трения*</b>
Говяжий жир	556	984	23	0,2
Рапсовое масло	525	1303	19,4	0,18
Литол-24	315	693	20,7	0,17
Divinol R2 (аналог на рапсовом масле)	525	1239	27	0,2
Divinol LM	840	2612	44	0,24
ПЕТ-ацилглицерид говяжьего жира	1098	1848	51	0,09
ПЕТ-ацилглицерид рапсового масла	1098	2058	47,7	0,12

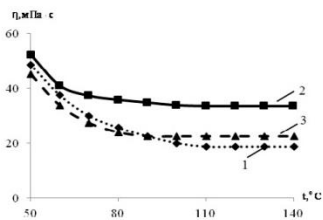
\* Машина трения УТМ8, пара трения ШХ17-Сталь20

Триботехнические характеристики синтезированных смазочных основ, полученных из говяжьего жира и рапсового масла, не уступают аналогичным показателям промышленных смазок изготовленных на минеральных маслах. В сравнении с Литол-24 и Divinol R2, которая изготовлена на рапсовом масле, превосходят их.

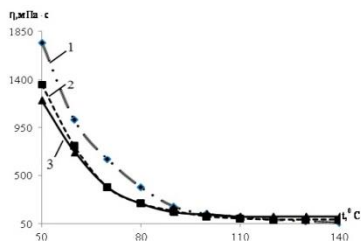
Результаты реометрических исследований (рис. 1–4) свидетельствуют о том, что для синтезированных ПЕТ-ацилглицеридов динамическая вязкость (рис. 3) возрастает в сравнении с вязкостью исходных жиров (рис. 1) и ацилглицеридов на их основе (рис. 2), становясь одного порядка с вязкостью промышленных смазок (рис.4).



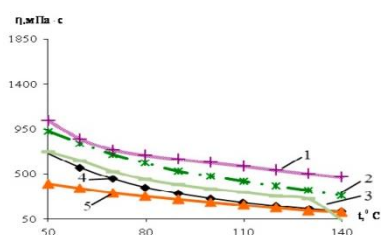
**Рис 1.** Изменение вязкости природных жиров от температуры (при  $1333 \text{ см}^{-1}$ ):  
1 – говяжий жир; 2 – куриный жир;  
3 – рапсовое масло



**Рис 2.** Изменение вязкости ацилглицеридов природных жиров от температуры (при  $1333 \text{ см}^{-1}$ ):  
1 – ацилглицерид говяжьего жира;  
2 – ацилглицерид куриного жира;  
3 – ацилглицерид рапсового масла



**Рис 3.** Изменение вязкости ПЕТ-ацилглицеридов от температуры (при  $1333 \text{ см}^{-1}$ ):  
1 – ПЕТ-ацилглицерид говяжьего жира;  
2 – ПЕТ-ацилглицерид куриного жира;  
3 – ПЕТ-ацилглицерид рапсового масла



**Рис 4.** Изменение вязкости промышленных смазок от температуры (при  $1333 \text{ см}^{-1}$ ):  
1 – ВНИИ НП 282; 2 – Литол-24;  
3 – Divinol R2;  
4 – Divinol LM;  
5 – ЦИАТИМ-201

Предлагаемое направление исследований является одним из технических решений в реализации задач «зеленой трибологии».

*Микосянчик О. А.,  
канд. техн. наук, доцент,  
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

*Мнацаканов Р. Г.,  
д-р техн. наук, профессор,  
Национальный авиационный университет, г. Киев, Украина*

## **ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ПОКРЫТИЯ СТАЛИ НА ЧУГУНЕ В УСЛОВИЯХ КАЧЕНИЯ С ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЕМ**

Перспективным направлением повышения эффективности использования деталей различного назначения при экономии материальных и топливо-энергетических ресурсов является организация восстановления изношенных деталей машин. Проверка качества упрочняющих или восстанавливающих технологий должна экспериментально осуществляться в лабораторных условиях на образцах, нагруженных в соответствии с основными эксплуатационными воздействиями; при этом также необходимо уделять внимание и выбору смазочного материала.

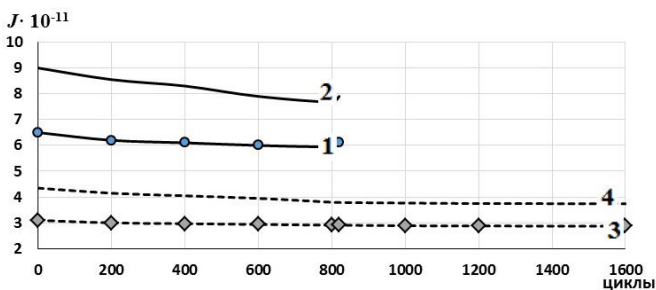
В работе исследована износостойкость напыленного покрытия стали 30ХГСА на чугуне в среде трансмиссионного масла ТС-гип (SAE 140 API GL-5) в условиях ступенчатого повышения нагрузки. На рабочую поверхность модифицированного чугуна СЧ30 методом газопламенного напыления наносился в качестве промежуточного слоя нихром Х20Н80 (НВ 145) толщиной до 0,15мм и основной слой порошковой проволоки марки ПП-Нп-30ХГСА в сочетании с флюсом АН26П. Толщина напыляемого слоя покрытия стали 30ХГСА для каждой пары исследуемых образцов после шлифования составляла 0,5 и 1,0 мм.

Исследование триботехнических параметров пар трения проводилось в нестационарных условиях в режиме пуск – остановка по циклу: разгон в условиях чистого качения (12,5 с) – работа в условиях 20 % проскальзывания (4 с) – торможение в условиях чистого качения (12,5с) – пауза (4 с). Ступенчатое повышение нагрузки:  $\sigma_{max}$  составляло 150, 200, 250 и 300 МПа соответственно при каждых 400 циклах работы.

Повышение  $\sigma_{max}$  при ступенчатом нагружении нарушает режим нормального трения: увеличивается интенсивность механического разрушения граничных слоев и замедляются процессы их восстановления, вследствие чего возрастает работа сил трения. Следует отметить, что максимальные значения удельной работы трения, независимо от тол-

щины исследуемого покрытия, установлены при наименьшем контактом давлении 150 МПа.

В процессе адаптации к динамическим условиям нагружения сформированных граничных слоев хемосорбционной природы на покрытии толщиной 1,0 мм установлено постепенное снижение удельной работы трения в контакте: при  $\sigma_{max}$  300 МПа  $A_{тр}$  составляет 5 Дж/мм<sup>2</sup> в 10 % циклов наработки в условиях чистого качения, а в условиях проскальзывания данный параметр стабилизируется на уровне 1500–2000 Дж/мм<sup>2</sup>. При смазывании покрытия толщиной 0,5 мм приращение удельной работы трения снижается лишь в условиях чистого качения, при проскальзывании стабилизации данного параметра не установлено. Это связано с более интенсивными процессами изнашивания, происходящими при разрушении и регенерации сформированных вторичных структур при трении. Интенсивность изнашивания покрытия толщиной 0,5 мм, в среднем, в 2 раза превышает аналогичный показатель, установленный для покрытия большей толщины, как для опережающей, так и для отстающей поверхностей (рис. 1).



**Рис. 1.** Изменение интенсивности изнашивания покрытия стали 30ХГСА для опережающей (1,3) и отстающей (2,4) поверхностей: 1, 2 – покрытие 0,5 мм, 3, 4 – покрытие 1,0 мм.

Следует отметить, что большей износостойкостью характеризуется покрытие толщиной 1,0 мм. Это обусловлено рядом факторов: вследствие более длительного температурного воздействия при газопламенном напылении микротвердость напыленного покрытия стали 30 ХГСА возрастает, в среднем, на 750 МПа, а его пористость снижается вдвое и составляет 5 %, по сравнению с аналогичными параметрами для исследуемого покрытия меньшей толщины. Общей закономерностью для покрытий разной толщины является наличие разупрочненных поверхностных слоев металла, покрытых граничными смазочными слоями различной природы.



Следовательно, для выбранных условий эксперимента доминирующим процессом в контакте является не деформационное упрочнение покрытия в условиях динамического нагружения, а его разупрочнение вследствие воздействия как температурного фактора, так и хемосорбционных слоев смазочного материала, обеспечивающих пластифицирование поверхностных слоев металла.

УДК 621.78

***Пастух І. М.,***

*д-р техн. наук, професор, Хмельницький національний  
університет, м. Хмельницький, Україна*

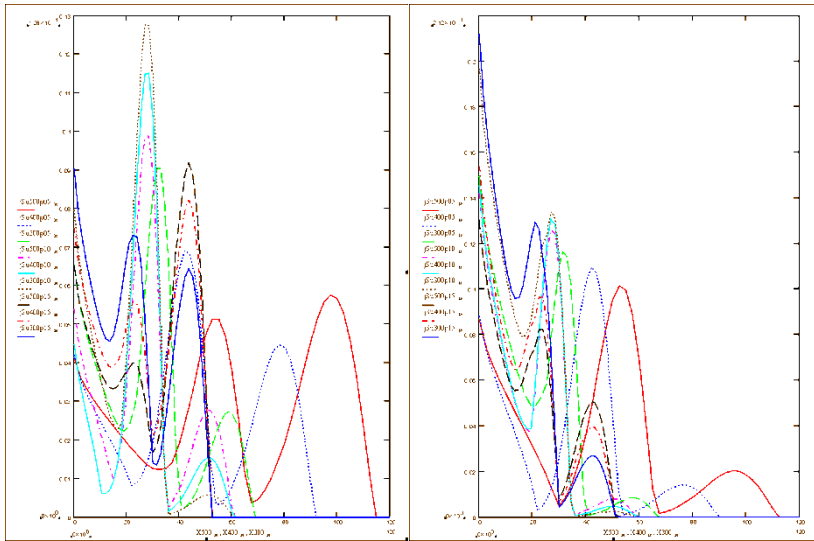
***Машовець Н. С.,***

*канд. техн. наук, доцент кафедри інженерної механіки та  
комп'ютерної графіки, Хмельницький національний університет,  
м. Хмельницький, Україна*

## **МЕТОДИ ПРОГНОЗУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОДИФІКАЦІЇ ПОВЕРХНІ АЗОТУВАННЯМ У ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ**

Конкурентоспроможність титанових сплавів обумовлена їх високою питомою міцністю та стійкістю до корозії. Проте зносостійкість титану і його сплавів нижча в порівнянні зі сталями, що зменшує можливість його застосування. Перспективним напрямком для покращення трибологічних характеристик титанових сплавів є модифікація низькотемпературним безводневим азотуванням в тліючому розряді, що забезпечує збереження вихідних властивостей матеріалу і виключає водневе окрихчення поверхні.

Трибологічні характеристики титанових сплавів залежать як від фізико-механічних характеристик поверхні, так і хімічного та фазового складів. Розроблені теоретичні основи фізики процесу азотування в безводневих середовищах, які враховують вплив енергетичного спектру падаючого потоку (ЕСПП) частинок на поверхню. Положення керованого формування трибосистем базується на енергетичній моделі азотування в тліючому розряді. Суть цієї моделі коротко зводиться до того, що з енергетичних спектрів падаючого потоку виділяються тільки ті зони, в рамках яких енергії достатньо для реалізації конкретних підпроцесів: утворення нітридів, дифузія та розпорошення. Приклади розрахованих за спеціальною імовірнісною методикою енергетичних спектрів, демонструють суттєві відмінності як по кількісній характеристиці так і по енергетичних рівнях часток падаючого потоку.

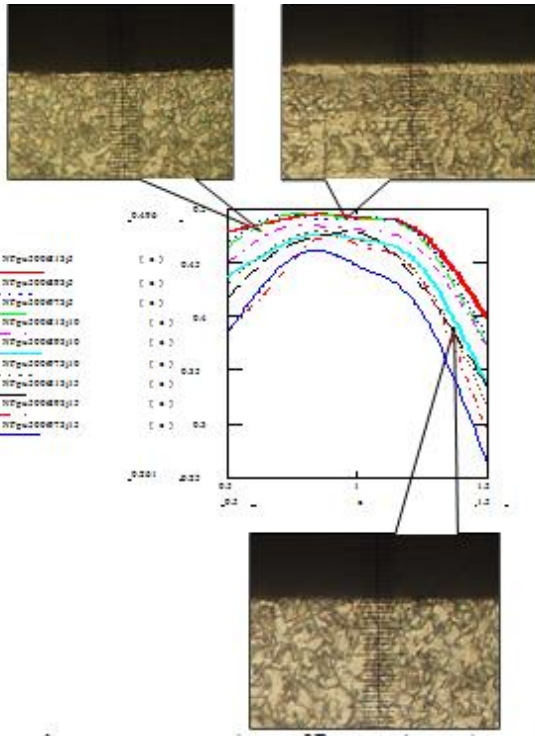


**Рис. 1.** ЕСПП для а) середовища: азот 75 %, аргон 25 %, температура 873°К, густина струму 15 А/м; б) середовища: азот 10 %, аргон 90 %, температура 873°К, густина струму 15 А/м.

Результати досліджень зносостійкості сплаву ВТ8 приведено в табл. 1. Дослідження показують, що зусилля схоплювання титанового сплаву після азотування в тліючому розряді в цих умовах випробувань збільшилось майже в 4,6 рази, в порівнянні з неазотованим зразком.

При цьому максимальний допустимий тиск на поверхні тертя збільшився в 3,7 рази. Це свідчить про зростання несучої здатності поверхні титанового сплаву ВТ8 після низькотемпературного азотування. На поверхню гартованої кульки відбувалося намазування неазотованого титанового сплаву. В парі «азотований ВТ8 – гартована кулька» великий знос кульки пояснюється тим, що продукти зношування азотованого ВТ8 мали високу твердість ( $HV = 600-750$ ) і виступали як абразив у процесі зношування.

**Висновок.** Запропонована система аналітичних критеріїв введених на основі енергетичної моделі цілком адекватно відображає реальний процес, а самі ці показники можуть застосовуватись для аналізу проектування та оптимізації технології азотування в тліючому розряді, тобто для керування формування трибологічних систем на поверхні титанових сплавів в залежності від умов подальшої експлуатації.



**Рис. 2.** Мікроструктури зрізів титанового сплаву BT8, азотованих при різних комбінаціях параметрів технологічного процесу

*Таблиця 1*

**Результати досліджень на зношування пари азотований титановий сплав BT8 – кулька сталь ШХ15 на машині Optimal SRV**

Зразки	Зусилля схоплювання $F_{зв}$ , Н	Тиск у зоні схоплювання $P_{зв}$ , <sup>2</sup> Н/мм <sup>2</sup>	Зношування		Діаметр схоплювання $D_{п}$ , мм	ширина доріжки зносу $h$ , мм
			кульки $\Delta m_{к}$ , мГ	BT8 $\Delta m_{зр}$ , мГ		
Вихідний матеріал	65	18,4	0,1	12,0	1,85	4,0
Азотований зразок	300	67,5	2,1	0,8	2,45	2,4

**Славін В. В.,**  
*канд. техн. наук, ст. викладач кафедри теорії та методики  
трудового і професійного навчання, Хмельницький національний  
університет, м. Хмельницький, Україна*

## **ВПЛИВ СИСТЕМИ КАТАЛІТИЧНОЇ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ НА ЕКОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЯ З СИСТЕМОЮ ВПОРСКУВАННЯ БЕНЗИНУ ІЗ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ В УМОВАХ МІСЬКОГО ЦИКЛУ**

Одним із напрямів поліпшення екологічних показників автомобілів, які знаходяться в експлуатації є установка в системі випуску відпрацьованих газів двигуна каталітичного нейтралізатора. Досвід встановлення каталітичних нейтралізаторів відпрацьованих газів на автомобілі розпочатий ще в США, коли в 1975 р. було видано нормативний акт, який забороняє експлуатацію автомобілів без каталітичних нейтралізаторів. Такі пристрої нейтралізують у відпрацьованих газах шкідливі речовини більш ніж на 90 %, що посприяло значному скороченню їх викидів у навколишнє середовище. Наприклад, за період 1970–2004 рр. токсичність відпрацьованих газів американських автомобілів з бензиновими двигунами по монооксиду вуглецю CO зменшилася практично в 20 разів, по незгорівших вуглеводнях  $C_mH_n$  і оксидах азоту  $NO_x$  – більш ніж в 30 і 15 разів відповідно.

У Західній Європі до введення екологічних норм «Євро-1» середній європейський автомобіль з чотирициліндровим двигуном потужністю 75 кВт (100 к.с.) при щоденному пробігу 100 км викидав в атмосферу за рік 300 кг (8,2 г/км) CO, 20 кг (0,548 г/км)  $C_mH_n$  і 40 кг (1,09 г/км)  $NO_x$ , тобто 360 кг шкідливих для людини і навколишнього середовища речовин. Норми «Євро-1», які передбачають встановлення окислювальних нейтралізаторів, забезпечили зниження викидів по CO до 2,75 г/км,  $C_mH_n$  – до 0,3 г/км,  $NO_x$  – 0,62 г/км, що для середнього міського автомобіля з бензиновим двигуном складає відповідно 0,996, 0,105 і 0,226 т на рік. Тісний взаємозв'язок між автомобілебудівною промисловістю та науково-технічним прогресом не тільки сприяє ефективному соціально-економічному розвитку суспільства і покращенню їх благ, а також завдає йому шкоди викидами шкідливих речовин з відпрацьованими газами. Внаслідок цього, ріст кількості автомобілів і форсування двигунів є однією з умов введення обмежень щодо рівня викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів, які приводяться до визначених екологічних показників і

зобов'язані підтримувати автомобілі протягом визначеного автовиробником терміну експлуатації. Посилення екологічних норм до авто-транспорту, коли особливої уваги привернула задача нейтралізації більш токсичних оксидів азоту посприяло появі трикомпонентних каталітичних нейтралізаторів. З 1993 р. їх масово розпочали встановлювати на всі європейські автомобілі, двигуни яких працювали з системою впорскування бензину, і в кінцевому результаті забезпечило виконання норм рівня «Євро-2».

Якщо раніше у двокомпонентних (окислювальних) нейтралізаторах в якості каталізаторів використовували платину Pt та паладій Pd, які забезпечують окислення CO в CO<sub>2</sub>, а C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> у CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O, то трикомпонентний каталітичний нейтралізатор містить родій Rh, який забезпечує відновлення NO<sub>x</sub> в молекулярний азот N<sub>2</sub>. Причому ефективність роботи трикомпонентного каталітичного нейтралізатора в межах 90–95 % досягається за умови підтримання стехіометричного складу суміші, коли  $\alpha \approx 1$ .

Проаналізувавши статистичні дані величини та структури автопарку в Україні визначено, що в експлуатації знаходиться 9 562 тис. од. (2014 р.) автотранспортних засобів, з яких частка легкових автомобілів складає близько 71 %. Реєстрація нових легкових автомобілів та пропуск на митну територію з інших країн із 2006 р. здійснюється при відповідності їх екологічним нормам не нижче рівня «Євро-2». Підтримання введених екологічних норм передбачає використання в автомобілях двигунів з сучасними системами живлення бензином (систем впорскування із зворотнім зв'язком) і систем каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів. Отже, до введення обов'язкових екологічних норм відбувалася перша реєстрація автомобілів із карбюраторними двигунами, які як відомо належать до найнижчого екологічного рівня «Євро-0». Для підтримання нових екологічних норм автомобілями, що знаходяться в умовах експлуатації з такими двигунами проведені експериментальні дослідження впливу на показники автомобіля заміни цієї системи на систему впорскування бензину із зворотнім зв'язком і системою каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів.

Для заміни карбюраторних систем живлення бензинових двигунів в умовах експлуатації пропонується використовувати сучасну електронну розподілену систему впорскування бензину типу LH-Motronic із зворотнім зв'язком та системами каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів і вловлювання випарів бензину.

Дослідження автомобіля проводились на моделюючому роликівому стенді AVL, де керуючись положеннями Правил ЄЕК ООН №83 виконувався рух автомобіля за режимами міського циклу для перевірки

відповідності його екологічним нормам «Євро-2». Результати проведених досліджень автомобіля з системою впорскування на моделюючому роликовому стенді наведено в табл. 1.

Таблиця 1

**Екологічні показники автомобіля обладнаного системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком та нейтралізатором, визначені за пробігу міського циклу (г/км)**

Масові викиди шкідливих речовин	Система впорскування із зворотнім зв'язком		
	Без нейтралізатора	З нейтралізатором	Норми Євро-2
$G_{CO}$	5,882	1,08	2,2
$G_{C_mH_n}$	1,549	0,21	Σ 0,5
$G_{NO_x}$	1,281	0,17	
$G_{CO_2}$	186,532	211,52	–

Із наведених даних видно, що масові викиди (г/км) шкідливих речовин найменші при роботі системи впорскування з каталітичним нейтралізатором. Встановлення трикомпонентного каталітичного нейтралізатора на двигун із системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком зменшує масові викиди CO в 5,5 рази,  $C_mH_n$  і  $NO_x$  в 7,4 та 7,5 разів відповідно, при цьому підтримуються екологічні норми «Євро-2». Значний вміст  $CO_2$  після нейтралізатора свідчить про ефективний перебіг реакцій окислення основних шкідливих речовин з утворенням нетоксичних речовин.

У результаті проведених досліджень в умовах міського циклу визначено, що зниження викидів шкідливих речовин автомобілів, які знаходяться в умовах експлуатації з карбюраторною системою відбудеться при використанні системи впорскування із зворотнім зв'язком та трикомпонентним каталітичним нейтралізатором відпрацьованих газів. Максимальна ефективність нейтралізатора, що визначається складом суміші, забезпечується системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком. Такі умови роботи дозволяють підтримати автомобілями екологічних норм рівня «Євро-2».

*Случак О. І.,  
аспірант кафедри якості, стандартизації та техногенно-  
екологічної безпеки, Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна,*

*Андрєєв В. І.,  
канд. техн. наук, доцент, завідувач відділу  
аспірантури, Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

## **МЕТОДИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ПОРОШКОВИХ КОМПОЗИТІВ З ЗАДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Метою цього дослідження є розробка технологічного процесу виробництва порошкових композитів із застосуванням структуроутворюючих методик, для надання матеріалу заданих трибологічних характеристик.

У процесі дослідження поставлено ряд завдань, для визначення подальших напрямів досліджень.

1. Визначити основні проблеми, що виникають у процесі виробництва подібних матеріалів.

2. Розробити метод виробництва порошкових композитів, що дозволить вирішити визначені проблеми та покращити трибологічні характеристики створених матеріалів.

3. Дослідити характеристики отриманих матеріалів та сфери їх застосування.

Об'єктом цього дослідження є методи структуроутворення порошкових композитів.

Предметом дослідження визначено титаново-рутилові порошкові композити.

Розробка композитних матеріалів з заданими трибологічними характеристиками є одним з найбільш перспективних напрямів в трибології та матеріалознавства.

У ЧДУ імені Петра Могили проводяться дослідження структуроутворення та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю. В рамках цієї тематики проводиться розробка порошкових композитів на основі титанової губки. Однією з перших розробок в цьому проекті став спосіб виготовлення роз'ємного кокіля, із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану. Клименко Л. П., як один з авторів визначив ряд недоліків,

притаманних технології виробництва даного матеріалу із застосуванням наповнювача 4,7 %  $\alpha$ - $Al_2O_3$  (корунд): високий відсоток браку внаслідок обсіпання формувальної суміші, висока вірогідність розкришування при механічному впливі на готову заготовку, складність виймання заготовки після пресування, через відсутність змазки, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху.

Першим етапом цього дослідження стала розробка методів зменшення браку внаслідок просипання. Для цього нами було запропоновано застосовувати метод вологого замішування для рівномірного розподілу наповнювача в суміші з титановою губкою. Початково передбачалось вигорання силікатної основи в процесі спікання, але отриманий при виготовленні перших зразків композиту результат відрізнявся від заданого теоретично.

Силікатна основа на якій замішувались титанова губка з наповнювачем утворила стійкі зв'язки з металом і наповнювачем, граючи роль своєрідної керамічної матриці, що в тому числі знижувала пористість готового матеріалу та підвищувала його трибологічні характеристики.

Визначено, що основні напрямки досліджень властивостей отриманої матриці будуть напряму пов'язані з умовами експлуатації матеріалу. Саме в ході вдосконалення процесу виробництва було визначено як основні розробку сумішей наповнювачів та матриці для експлуатації в умовах підвищених температур (кокілі та кришки кокілів), а також в умовах підвищених фрикційних навантажень (двигуни, броневі пластини). В ході цих робіт, було розроблено та направлено для патентування керамічну матрицю у вигляді рідкого скла для металокерамічних композитних матеріалів на основі порошку губчатого титану.

Результатом досліджень у напрямі удосконалення цього методу стала серія експериментів по застосуванню наповнювачів різного складу та фракції у складі композиційних матеріалів.

Так найкращу стійкість в умовах термічних навантажень проявила суміш титанової губки та  $Al_2O_3$  у силікатно-спиртовій матриці, що має дещо меншу теплопровідність та вищу зв'язуючу здатність ніж просто силікатна. Не гірші властивості проявили подібна суміш із наповнювачем із базальтової смоли замість  $Al_2O_3$ , а також їх суміш. Навіть у суміші з не призначеними для високих температур наповнювачами силікатна та силікатно-спиртова матриця підвищували жаростійкість зразків в порівнянні з простою сумішшю титанова губка-наповнювач.

Як і його попередники композиційний матеріал на основі порошку титану з наповнювачем у суміші з матрицею рідкого скла виготовляється методом порошкової металургії з рівномірним розподілом напов-



нювача в об'ємі матриці, та подальшим спіканням у вакуумній печі при температурі 1100 °С.

При стиканні титанового порошку з сумішшю матриці та наповнювача, відбувається заповнення пор у матеріалі, утворення захисної плівки навколо часток металу, витиснення залишків суміші, що здійснює роль змазки при пресуванні. Унаслідок цього спаювання часток тиском відбувається з високою швидкістю.

Особливістю застосування матриці є висока швидкість розпаду на повітрі, а, як наслідок, загусання суміші, що вимагає пресування заготовки не пізніше 3 годин від замішування суміші «титанова губка-наповнювач-силікатна (або силікатно-спиртова) матриця», в той час, як спікання може відбуватись і значно пізніше.

Отже, було досліджено та апробовано новий метод виробництва порошкових композитів, що полягає у вологом замішуванні суміші наповнювача з титановою губкою в рідкій керамічній матриці для оптимізації трибологічних характеристик матеріалу та підвищення його термічної стійкості. Єдиною особливістю процесу виробництва стала необхідність пресування заготовки не пізніше 3 годин від замішування.

УДК 621.891

*Сорокатиий Р. В.,*

*д-р техн. наук, професор,*

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

*Диха М. О.,*

*канд. техн. наук, старший викладач,*

*Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна*

## **МЕТОДИ І МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ ТРИБОСИСТЕМ КОВЗАННЯ**

Протягом останніх десятиріч в науці трибології сформувались дві концептуальні школи, які мають свої особливості при розгляді проблем аналізу і прогнозування зносостійкості деталей трибосистем. Представники школи Крагельського І. В. представляють універсальну аналітичну модель зношування виходячи із закономірностей втомного руйнування мікронерівостей. При цьому розрахункові залежності вміщують механічні характеристики матеріалів основи, які часто на порядки відрізняються від властивостей поверхневого шару, що вносить у результати розрахунку грубі помилки. Послідовники школи

професора Костецького Б. І. головним механізмом зношування визнають хіміко-механічні процеси на контактних поверхнях: окислення, фазові перетворення та інші. При цьому вважається, що розрахункові залежності для опису цих надзвичайно складних процесів ускладнені або практично неможливі. В результаті прогнозування ресурсу по зносу можливе тільки якісне, за результатами стендових та експлуатаційних випробувань. Одним з авторів нового підходу до аналізу і прогнозування зношування трибосистем, в тому числі і циліндричних трибосистем ковзання був професор А. Г. Кузьменко. Так для прогнозування зносостійкості підшипників ковзання використана наступна схема: аналіз умов у контакті; встановлення моделі зношування; теоретико-експериментальне визначення параметрів моделі зношування; розрахунки надійності вузла тертя. Така стратегія прийнята за основу авторами проекту, які є послідовниками школи проф. Кузьменка А. Г. Далі наводяться результати сучасних досліджень зносостійкості циліндричних трибосистем. У статті Ali Rezaei (Ali Rezaei, Wim Van Paeregem, Patrick De Baets, Wouter Ost, Joris Degrieck. Adaptive finite element simulation of wear evolution in radial sliding bearings, *Wear*, Volume 296, Issues 1–2, 30, 2012, pp. 660–671) представлений адаптивний метод моделювання зношування в радіальному підшипнику в контакті з валом, що обертається. Для моделювання контактних параметрів використаний змішаний підхід Лагранжа-Ейлера, а локальне зношування описане рівнянням Арчарда. В результаті моделювання встановлювались залежності контактних параметрів при зміні радіального зазору в часі. Разом із цим роботі враховувався фактор впливу температури і швидкості ковзання. В роботі Massi F. (Massi F., Bouscharain N., Milana S., Le Jeune G., Maheo Y., Berthier Y. Degradation of high loaded oscillating bearings: Numerical analysis and comparison with experimental observations, *Wear*, Volume 317, Issues 1–2, 2015, pp. 141–152) представлений метод розрахунку контактного тиску у важко навантаженому опорному підшипнику за допомогою специфічних граничних умов, визначених в залежності від пошкоджуваності підшипників. Розрахункова модель враховує умови навантаження і розподіл контактного тиску, який корелюється з даними, отриманими з експерименту. Робиться висновок, що порівняння результатів розрахунку з результатами трибологічних спостережень підтверджує основну причину зносу від втомного руйнування нерівностей. Розрахунок контактного тиску потребує постійного супроводження достатньо апаратно складними експериментальними спостереженнями, що не дозволяє розповсюдити запропоновану методика на інші типи циліндричних трибосистем. У роботі Aghdam A. B. (Aghdam A. B., Khonsari M. M. Prediction of wear

in grease-lubricated oscillatory journal bearings via energy-based approach, *Wear*, Volume 318, Issues 1–2, 2014, pp. 188–201) запропонований енергетичний підхід для прогнозування і аналізу зносу в радіальному підшипнику. Методологія заснована на вимірюванні або оцінці зростання температури в системі ковзання. В якості головного критерію прийнятий коефіцієнт дисипації енергії в середовище при зношуванні. Методологія рекомендована для широкого спектру умов навантаження. Але запропонована методика не враховує безпосередній вплив фактору навантаження у фактичному контакті і не відображає механізм зношування для його прогнозування. Автори роботи *Finite element implementation and validation of wear modelling in sliding polymer-metal contacts* (Martínez F. J., Canales M., Izquierdo S., Jiménez M. A., Martínez M. A. *Finite element implementation and validation of wear modelling in sliding polymer-metal contacts*, *Wear*, Volumes 284–285, 2012, pp. 52–64) розвивають чисельну модель зношування для ковзної пари полімер-сталь, яка широко використовується для циліндричних трибосистем ковзання. По суті в роботі розвивається розрахункова скінченно-елементна модель з використанням спеціальних підпрограм, що враховують зміни властивостей матеріалів. Разом з цим модель як вихідні дані потребує залежностей між коефіцієнтом тертя та контактним тиском для конкретного матеріалу, що враховано в методі трибоелементів авторів проекту. В роботі *Friction and wear between rotating band and gun barrel during engraving process* (Bin Wu, Jing Zheng, Qing-tao Tian, Zhi-qiang Zou, Xiao-lei Chen, Kai-shuan Zhang. *Friction and wear between rotating band and gun barrel during engraving process*, *Wear*, Volume 318, Issues 1–2, 15, 2014, pp. 106–113) розглядається трибосистема ковзання куля-ствол. Проводилось дослідження сили тертя при обертовому врізанні кулі в канал ствола за допомогою спеціального стенду. Встановлено, що найбільший вплив на перебіг процесів пошкодження каналу ствола мають швидкість ковзання і температура. В проекті для аналізу і моделювання зношування поверхні каналу ствола передбачається враховувати як базові чинники коефіцієнту тертя, температури і швидкості ковзання. В роботах російських учених Зеленко В. К. (Взаимосвязь износа каналов стволов снайперского оружия с конструкцией пули [Текст] / В. К. Зеленко, В. М. Королев, Ю. Н. Дроздов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 3. – С. 83–87) та Зеленко В. К. (Основные факторы влияния на ресурс стволов снайперского оружия [Текст] / В. К. Зеленко, В. М. Королев, Ю. Н. Дроздов // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2010. – № 5. – С. 74–82) проаналізовано вплив основних факторів на процеси пошкоджуваності у циліндричній трибосистемі ковзання куля-ствол, зокрема

детально описаний вплив теплових факторів за допомогою аналітичних залежностей.

На відміну від описаних вище відомих підходів у цьому дослідженні визначальним фактором, що впливає на зношування приймається контактний тиск та напруження тертя.

Для визначення контактного тиску, як базового фактора, що впливає на знос, використовують розв'язки контактних задач механіки пружно і пластично деформуємого тіла без урахування зносу. Для циліндричних трибосистем пропонується застосування і розвиток методів алгебраїчних рівнянь в контактній механіці і варіаційно-експериментальний метод визначення контактних напружень.

Для визначення параметрів моделі зношування проводяться випробування на знос, для чого розробляються відповідні методи випробувань. Як базові для циліндричних трибосистем ковзання пропонується застосування багатофакторних моделей зношування (контактний тиск, швидкість ковзання, температура та інші), що представляються в безрозмірному вигляді на основі методу подібності і розмірностей.

Для побудови розрахункових залежностей надійності приймаються залежності для розрахунку граничного шляху тертя у імовірнісній постановці, де найбільшу складність представляє визначення коефіцієнтів варіації. Для циліндричних трибосистем ковзання пропонується спосіб послідовного розрахунку коефіцієнтів варіації функцій багатьох випадкових величин.

УДК 681.11.035.2 (043.2)

**Тарабрін О. І.,**

*канд. техн. наук, доцент,*

*Національний університет кораблебудування імені С. О. Макарова,*

*м. Миколаїв, Україна*

**Щербак Ю. Г.,**

*канд. техн. наук, доцент,*

*Чорноморський державний університет імені Петра Могили,*

*м. Миколаїв, Україна*

## **ОПОРИ КОЧЕННЯ З ДЕМПФІРУВАЛЬНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ**

Із метою розширення можливостей використання підшипників кочення запропоновано ряд схем їх пружної установки, тобто застосування піддатливих опор кочення (див. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 2. Под ред.

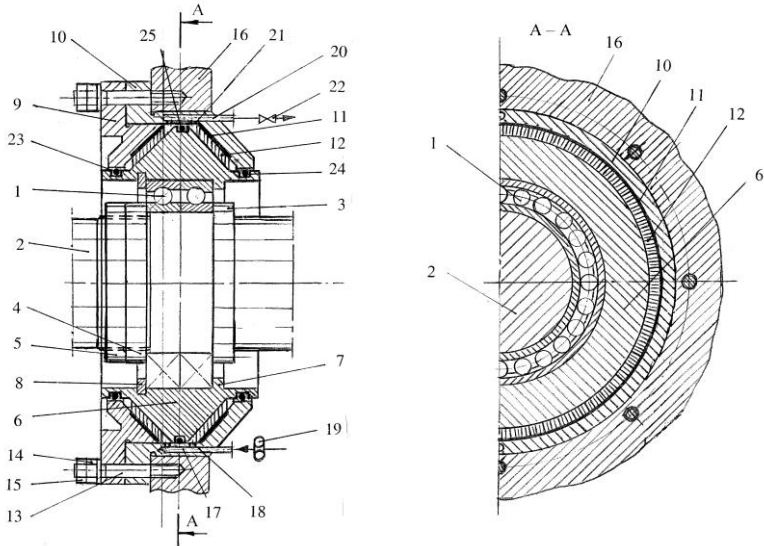
П. Н. Учаева. – 3-е изд., исправл. – М.: Машиностроение, 1988. – 544 с.).

В конструкціях машин і механізмів із високошвидкісними валами можуть статися доцільними авторські пропозиції щодо використання опор кочення з демпфірувальними елементами (див. Патент на корисну модель № 27478 (UA). Піддатлива опора кочення / О. І. Тарабрін, Ю. Г. Щербак. – № у 20008780. – надрук. 25.10.2007. Бюл. № 17; Патент на корисну модель № 19502 (UA). Піддатлива опора кочення / О. І. Тарабрін, Ю. Г. Щербак. – № у 200607316. – надрук. 15.12.2006. Бюл. № 12). Пропозиції, у першу чергу, стосується опор за наявності несталих умов їх експлуатації, значних радіальних навантажень, у тому числі й ударно-імпульсних, а також опор, що одночасно з радіальним сприймають двостороннє осьове навантаження. Саме такий варіант піддатливої опори кочення з демпфірувальними елементами на основі пружного дротового ворсу наведено на рис. 1.

У здвоєному підшипнику кочення 1 знаходиться вал 2 механізму, в якому використовується піддатлива опора запропонованої конструкції. Внутрішня обойма підшипника зафіксована на валу буртиком 3 та затискнуою 4 і стопорною 5 гайками. Зовнішня обойма підшипника знаходиться у втулці-гребені 6 та зафіксована в осьовому напрямі буртиком 7 та стопорним кільцем 8. Втулка-гребінь у перерізі має форму, що наближається до трикутника і знаходиться між фланцями 9 і 10 піддатливої опори кочення. Контакт зовнішніх поверхонь втулки-гребня 6 з внутрішніми поверхнями фланців 9 і 10 здійснюється через демпфірувальні елементи, що складаються із закріплених на внутрішніх поверхнях фланців 9 і 10 основ, на які нанесено пружний дротовий ворс 12.

Піддатлива опора фланцями 9 і 10 за допомогою шпильок 13, притискних 14 та стопорних 15 гайок кріпиться до корпусу 16 механізму. У фланці 10 передбачено канали 17 і 18 для підведення від джерела 19 мастила під тиском та канали 20 і 21 та дросель 22 для його відведення. В конструкції передбачені кільцеві ущільнення 23, 24, 25. На зовнішніх поверхнях фланців 9 і 10 виконано штучну шорсткість у вигляді хаотично спрямованих рисок з найбільшою висотою нерівності, що складає 0,03...0,1 мм. Це захищає втулку-гребінь від прокручування відносно фланців 9 і 10.

Конструкція піддатливої опори передбачає певні переміщення вала 2 в радіальному та осьовому напрямах у межах деформації пружного дротового ворсу 12.



**Рис. 1.** Опора кочення з двостороннім розташуванням демпфівальних елементів

Пружна підвіска підшипникового вузла дозволяє забезпечити безпечне проходження критичних резонансних частот обертання вала механізму та сприйняття суттєвих радіальних і осьових навантажень, у тому числі й ударно-імпульсних.

За демпфівальної здатності пружних елементів здійснюється розсіювання у просторі енергії коливального руху і швидке затухання коливань, що можуть виникнути як наслідок дисбалансу або ударно-імпульсних навантажень.

*Шугай В. В.,  
аспірант кафедри державної служби,  
Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

*Прищепов О. Ф.,  
канд. техн. наук, доцент кафедри медичних приладів і систем,  
Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

*Андрєєв В. І.,  
канд. техн. наук, доцент, завідувач відділу  
аспірантури, Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

## **КОНСТРУКЦІЯ ЖАРОСТІЙКОЇ КРИШКИ ДЛЯ КОКІЛІВ ВІДЦЕНТРОВОГО ЛИТТЯ**

Метою дослідження є удосконалення конструкції кришки для кокілю відцентрованого лиття за рахунок об'єднання пористого теплоізолюючого шару з вкладками металічного титану в місцях контакту кришки з вилівкою.

У процесі дослідження поставлено ряд завдань, для визначення подальших напрямів досліджень.

1. Розробити схему конструкції кришки для кокілю відцентрованого лиття.
2. Визначити оптимальний матеріал для вкладок контакту.
3. Обрати оптимальний матеріал для ізолюючого шару між вкладками.

Об'єктом цього дослідження є конструктивні особливості кришок для кокілів відцентрованого лиття.

Предметом дослідження визначено складні конструкції кришок для кокілів відцентрованого лиття.

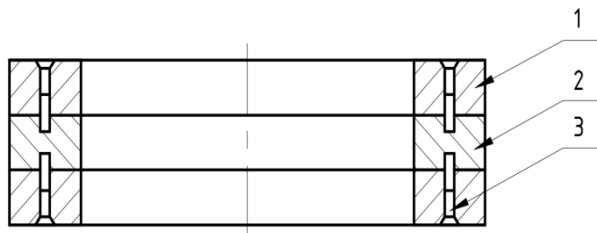
Розробка складних жаростійких конструкцій є одним із напрямів покращення експлуатаційних характеристик типових схем обладнання для лиття.

У ЧДУ імені Петра Могили проводяться дослідження структуроутворення та технології інженерії поверхневих високоміцних структур з перемінною зносостійкістю. В рамках даної тематики проводиться розробка жаростійких матеріалів та конструкцій. Однією з перших розробок у цьому проекті став спосіб виготовлення роз'ємного кокіля, із пористого композиційного матеріалу на основі губчатого титану.

Клименко Л. П., як один із авторів, визначив ряд недоліків, притьманих технології виробництва даного матеріалу з застосуванням наповнювача 4,7 %  $\alpha - Al_2O_3$  (корунд): високий відсоток браку внаслідок обсипання формувальної суміші, висока вірогідність розкришування при механічному впливі на готову заготовку, складність виймання заготовки після пресування, через відсутність змазки, погані санітарно-гігієнічні умови в ливарному цеху.

Ця розробка є продовженням досліджень у сфері застосування пористих титанових композитів, як елементів ливарного обладнання.

Розроблена конструкція кришки з теплоізолюючим шаром (рис. 1) дозволяє вирішити проблему розподілу тепла за площею матеріалу, за рахунок монометалічних титанових вкладок виключає вплив капілярного ефекту, характерного для кокілей з пористого матеріалу на теплоізолюючий шар кришки.



**Рис. 1.** Схема конструкції кришки кокілю

1 – кришки із сплаву титану; 2 – пористий ізолятор; 3 – штифтовий з'єднувальний вузол

Вибір титану в якості матеріалу для вкладок зумовлено доступністю, хімічною нейтральністю до компонентів фарб та високою жаростійкістю. Вибір пористого ізолятора, зумовлений високою ефективністю теплоізоляції та низькою порівняно з металічним титаном вартістю. До недоліків цієї конструкції відносяться: складність спайки між вкладками та ізолюючим шаром; необхідність утилізувати всю кришку при зносі вкладки, що контактує з металом в кокілі.

Матеріал теплоізолюючого шару здійснює значний вплив на його термодинамічні властивості. При стиканні титану ізолюючим шаром відбувається спайка за рахунок дії тиску на метал. У наслідок цього спаювання компонентів кришки тиском відбувається з високою швидкістю.

Зниження теплопровідності кришки, та ріст її міцності відбувається, як за рахунок ускладнення структури конструкції, так і за рахунок властивостей пористого матеріалу, що слугитиме ізолятором.



Таким чином, було досліджено та апробовано нову конструкцію кришки для кокілю відцентрового лиття.

Введення подібної схеми дозволить знизити теплопровідність кришки в 1,5–3 раз залежно від матеріалу ізолятора та зменшити її ціну на порядок, за рахунок зниження кількості металу титану в конструкції. Ця схема може бути використана для виробництва кришок кокілів, що є елементом конструкцій для лиття поршневих кілець у кокіль, або відцентрового лиття гільз циліндрів двигунів, насосів або компресорів.

УДК 623.421.2 (075.8)

*Клименко Л. П.,  
д-р техн. наук, професор, ректор,  
Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

*Дихта Л. М.,  
д-р физ.-мат. наук, професор кафедри прикладної та вищої  
математики, Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

*Андрєєв В. І.,  
канд. техн. наук, доцент, завідувач відділу  
аспірантури, Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

## **ДО ТЕОРЕТИЧНОГО РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧІ ПРО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ АРТСТВОЛІВ**

**Характеристика проблеми.** Як відомо, складність завдання розрахунку зносу і живучості стволів різних типів гармат обумовлена великим числом факторів, що впливають на процес зносу і показники живучості системи «ствол – заряд – снаряд», причому у своєму складі вказані розрахунки мають містити результати розв'язку: 1) прямої основної задачі внутрішньої балістики (криві тиску та температури порохових газів і швидкості снаряду у функції від шляху, пройденого снарядом у каналі ствола); 2) нестационарної задачі теплопровідності про температурне поле ствола при пострілі чи серії пострілів гармати; 3) системи диференціальних рівнянь по визначенню лінійної та кутової (обертальної) швидкостей снаряду; 4) визначення характеристик зносу каналу ствола; 5) задачі про розрахункові значення компонентів напру-

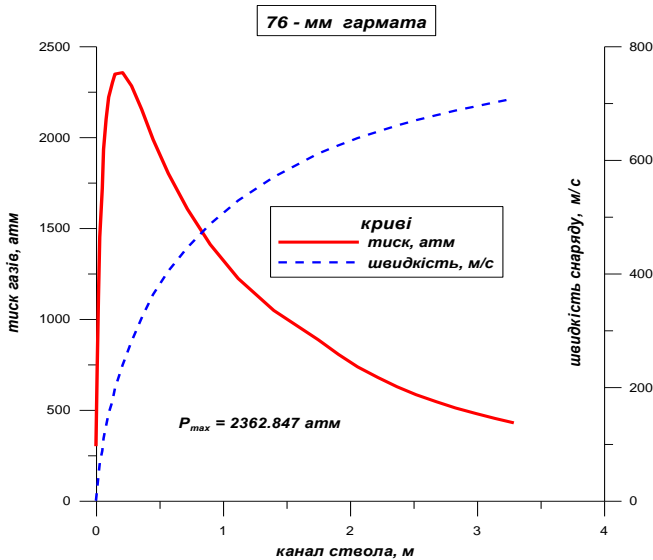
жено-деформованого стану ствола, зумовленого тиском порохових газів. При цьому результати теоретичного плану потребують корекції в напрямку їх узгодження з експериментальними даними, отриманими при проведенні певної кількості так званих балістичних стрільб. Отже, завдання розрахунку зносу і живучості стволів є достатньо складною для реалізації науково-практичною задачею.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Питання про знос і живучість артстволів було вперше розглянуто Д. К. Черновим на початку ХХ ст., причому створена ним якісна теорія зносу зберегла свою цінність і на сьогодні. Свого часу подальші дослідження були виконані як зарубіжними (Шарбоньє, Юстров, Габо, Лінт і ін.), так і радянськими вченими (А. Ф. Головін, В. Н. Константинов, В. Є. Слухоцький та ін.). В результаті вчені підійшли до створення фізично обґрунтованої, математично строгої і універсальної теорії зносу і живучості артстволів середнього та великого калібру, яка дозволяє ставити на порядок денний питання про наближене розрахункове визначення та прогнозування зносу і живучості згаданих артстволів. Приклади розв'язку нестационарної задачі теплопровідності про температурне поле порожнинного циліндричного виливка при відцентровому литті наведено в наших роботах.

**Мета даної роботи** полягає в розробці математичного апарату наближеного переважно теоретичного розрахунку характеристик живучості та зносу нарізних та гладкоканалних артстволів в процесі їх вогневої експлуатації на основі розв'язку деяких з віщезгаданих задач математичної фізики та комп'ютерінга.

**Основний матеріал.** Створено програмне забезпечення (ПЗ), що стосується розв'язку за допомогою ЕОМ різних аспектів відзначених вище груп задач 1) – 4); задачі групи 5) про напружено-деформований стан ствола торкаються переважно проблем конструювання та проектування ствола як складового елемента гармати і на тепер не є предметом наших досліджень та розробок. Певне уявлення про можливість практичного використання вказаного ПЗ можна скласти на основі нижче наведеного рисунка, що ілюструє піродинамічні криві, отримані при розв'язку за допомогою ЕОМ (а не розроблених у минулому столітті таблиць, які і тепер ще інколи використовуються в практиці розрахунків) прямої основної задачі внутрішньої балістики стосовно відомої в спеціальній літературі гармати; інші приклади використання розглянутого ПЗ можна знайти у вище цитованих роботах Клименко Л. П. («Математичне моделювання процесів твердіння та охолодження порожнинного циліндричного виливка при відцентровому литті в масивний кокіль» / Дихта Л. М., Андреев В. І. // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т. 35. Вип. 22. Комп'ютерні технології.

Системний аналіз. Моделювання. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2004. – С. 59–69. та «Математичне моделювання теплових процесів при литті в металевий кокіль короткого порожнинного циліндричного виливка» /Дихта Л. М., Андреев В. І. // Научно-технический журнал «Двигатели внутреннего сгорания». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2015. – № 1. – С. 57–62.).



**Рис. 1.** Графіки залежності тиску порохових газів та швидкості снаряду як функцій шляху, пройденого снарядом в каналі ствола при пострілі

**Висновки.** 1. Розроблено ПЗ розрахунку при залученні ЕОМ елементів прямої основної задачі внутрішньої балістики та нестационарної задачі теплопровідності про температурне поле ствола. 2. У межах загально прийнятих в таких випадках припущень розрахункові результати не суперечить даним, відомим у спеціальній літературі. 3. Запропоноване ПЗ може слугувати робочим апаратом при подальшому проектуванні та конструюванні артилерійських стволів сучасних гармат.

# Секція

## ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

---

УДК 519.6

*Бойко А. П.,  
канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва та архітектури,  
Чорноморський державний університет імені Петра Могили,  
м. Миколаїв, Україна*

### **ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИХ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ**

На сьогодні в розвитку сучасної науки і техніки існує велика кількість різноманітних складних завдань оптимізації. У постановці завдань можуть брати участь декілька цільових функцій, функціоналів, критеріїв якості, алгоритмічно і таблично заданих функцій. Цільові функції можуть не мати властивостей унімодалності, дифференцируемості, лінійності і т. д. Обмеження задачі можуть утворювати складну розривну допустиму область, мати нелінійний характер. Дуже часто задача визначення оптимальних характеристик – нелінійна та багаторозмірна (велика кількість незалежних змінних, що підлягають оптимізації). Якщо розмірність простору пошуку велика, то це, з одного боку, призводить до різкого зростання кількості обчислень цільової функції, а з іншого – до великих витрат часу, необхідного для одноразового обчислення цільової функції. У результаті пряме рішення задачі оптимізації класичними методами нелінійної оптимізації виявляється складною проблемою.

Для вирішення подібних багаторозмірних задач можна, по-перше, застосувати методи зменшення розмірності, або, по-друге, вирішувати багаторозмірну задачу з використанням спеціальних алгоритмів, працюючих з великою кількістю змінних, наприклад генетичних.

Перший підхід використовує відомий в математичному моделюванні прийом – декомпозицію складної структури, що дозволяє розбити початкове завдання на завдання меншої складності, яке вимагає простіших алгоритмів. При цьому для пошуку глобального оптимуму будується ітераційна схема послідовного рішення окремих задач.

Інший підхід до рішення багаторозмірних оптимізаційних задач передбачає застосування генетичних алгоритмів (genetic algorithms).

Генетичними алгоритмами називається група адаптивних методів, які можуть використовуватися для вирішення завдань пошуку і оптимізації.

Генетичні алгоритми є алгоритмами пошуку, побудованими на принципах, схожих із принципами природного відбору і генетики.

Основні відмінності генетичних алгоритмів від традиційних методів пошуку екстремумів такі:

1. Генетичні алгоритми працюють з кодами, в яких представлений набір параметрів, які безпосередньо залежать від аргументів цільової функції. Причому інтерпретація цих кодів відбувається тільки перед початком роботи алгоритму і після завершення його роботи для отримання результату. В процесі роботи маніпуляції з кодами відбуваються незалежно від їх інтерпретації, код розглядається просто як бітовий рядок.

2. Для пошуку оптимуму генетичний алгоритм використовує декілька точок одночасно (популяцію), а не переходить від точки до точки, як це робиться в традиційних методах. Це дозволяє здолати один із їх недоліків – небезпеку попадання в локальний екстремум цільової функції, якщо вона не є унімодальною, тобто має декілька таких екстремумів.

3. Генетичний алгоритм у процесі роботи не використовує ніякої додаткової інформації, що підвищує швидкість роботи. Єдиною інформацією може бути область допустимих значень параметрів і цільової функції в довільній точці.

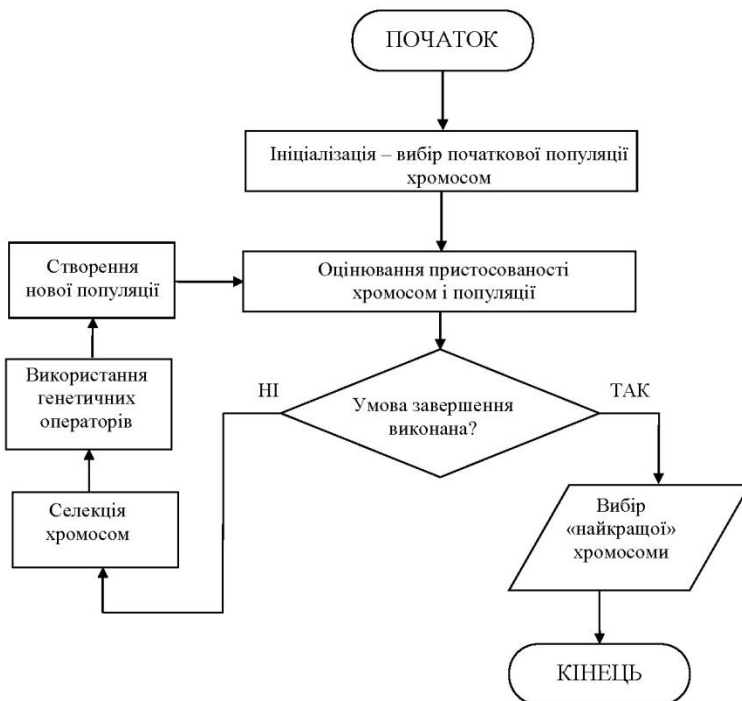
4. При пошуку оптимуму генетичний алгоритм розраховує тільки цільову функцію, а не її похідні або іншу додаткову інформацію.

5. У генетичному алгоритмі застосовуються як імовірнісні правила для породження нових точок аналізу, так і детерміновані правила для переходу від одних точок до інших.

На сьогодні сфера застосування генетичних алгоритмів досить велика: розробка програмного забезпечення, системи штучного інтелекту, оптимізація, штучні нейронні мережі і тому подібне.

Робота генетичного алгоритму є ітераційним процесом, який триває до тих пір, поки не виконається критерій припинення пошуку. Схема пошуку оптимального значення цільової функції в генетичному алгоритмі включає наступні кроки (рис. 1).

Нині генетичні алгоритми є однією з галузей науки, що найбільш розвиваються, дослідження в якій ведуть до постійного підвищення ефективності та розширення сфер їх використання.



**Рис. 1.** Блок-схема роботи генетичного алгоритму

УДК 666.97:[658.567:664](043.2)

*Лавринев П. Г.,  
канд. техн. наук, и. о. доцента кафедри строительства  
и архитектуры, Черноморский государственный университет  
имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОНА**

Пищевая, как и любая другая промышленность, также имеет свои отходы, которые не имеют потребителя или используются лишь частично. Это отходы дрожжевых заводов, пивного производства, отходы рыбной промышленности и морского промысла, жмыхи (горчичный, рапсовый), молочная сыворотка (подсырная, творожная, соленая) и др. Выброс или складирование этих отходов также представляет опасность

для окружающей среды, прежде всего ввиду наличия белков, распадающихся с выделением ядовитых соединений. В связи с этим утилизация отходов пищевой промышленности имеет большое значение с точки зрения охраны окружающей среды, а также с точки зрения комплексного и рационального использования сырья.

В состав многих отходов пищевой промышленности входят органические кислоты, сахара и другие вещества, в той или иной степени обладающие свойствами пластификаторов, диспергаторов, регуляторов процессов схватывания и твердения минеральных вяжущих веществ.

Нами были исследованы отходы производства хлебопекарных дрожжей с целью изучения их пластифицирующих свойств, а именно: отработанное мелассное сусло, содержащее свободные аминокислоты, сахара, этиловый спирт и другие вещества.

В процессе проведения экспериментальных исследований по изучению влияния отходов производства хлебопекарных дрожжей на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона была использована такая методика. Для проведения опытов были использованы такие компоненты бетонной смеси: крупный заполнитель – щебень из мраморовидного известняка фракции 5–20 мм, плотностью  $\gamma = 2620 \text{ кг/м}^3$ , насыпной плотностью  $\gamma_n = 1520 \text{ кг/м}^3$ ; мелкий заполнитель – кварцевый речной песок Запорожского карьера модулем крупности 1,8–2,1, плотностью  $\gamma = 2610 \text{ кг/м}^3$ , насыпной плотностью  $\gamma_n = 1490 \text{ кг/м}^3$ ; вяжущее – портландцемент марки 400 (активность  $438 \text{ кг/см}^2$ ) Ольшанского цементного завода; вода – водопроводная питьевая. При этом состав бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  бетона был принят следующим, кг: портландцемента – 320, песка – 755, щебня – 1160, воды – 155. Расход отходов производства хлебопекарных дрожжей, которые вводились в бетонную смесь вместе с водой затворения, составил 2–8 % от массы вяжущего. Бетонная смесь тщательно перемешивалась вручную. Стандартные образцы размером  $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$  формовались на лабораторной виброплощадке в течение двух минут, затем подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму 2+3+8+2 часа (выдерживание, подъем температуры, изотермический прогрев при  $80\text{--}85^\circ\text{C}$ , охлаждение). Затвердевшие бетонные образцы, как контрольные, так и исследуемые, испытывались после тепловлажностной обработки, после твердения в тепловлажностных условиях в 28-суточном возрасте. Для определения прочности бетонных образцов был использован гидравлический пресс П-125.

Анализ проведенных экспериментальных исследований по влиянию отходов производства хлебопекарных дрожжей на подвижность бетонной смеси и прочностные свойства затвердевшего бетона показал, что

эти отходы достаточно хорошо пластифицируют бетонную смесь, а именно: подвижность бетонной смеси с 4–5 см осадки стандартного конуса увеличивается до 8–10 см, причем наиболее оптимальный расход этих отходов составляет 4–5 % от массы портландцемента.

С целью изучения влияния исследуемых отходов на прочностные свойства затвердевшего бетона дополнительно были проведены экспериментальные исследования, в которых уменьшался расход воды затворения. При этом подвижность бетонной смеси была принята одинаковой, как у контрольных образцов, так и у исследуемых. Анализ результатов испытаний бетонных образцов на осевое сжатие показал, что прочность исследуемых образцов с вышеуказанной добавкой в количестве 5 % оказалась на 12–15 % выше контрольных, в которых расход воды затворения был уменьшен на 10 %. Следовательно, отходы производства хлебопекарных дрожжей позволяют не только повышать подвижность бетонной смеси, но и улучшают прочностные характеристики затвердевшего бетона.

УДК 691:[502.174:634.8](043.2)

*Лавринев П. Г.,*

*канд. техн. наук, и. о. доцента кафедры строительства  
и архитектуры, Черноморский государственный университет  
имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина*

*Зимінова М. Г.,*

*старший преподаватель кафедры строительства и архитектуры,  
Черноморский государственный университет имени Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина*

## **СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ВИНОГРАДНОЙ ЛОЗЫ**

Проблема переработки вторичного сырья приобретает в наше время острый социальный характер. Это связано как с усиливающимся загрязнением окружающей среды, так и с ограниченностью традиционных природных ресурсов. Это в полной мере относится, прежде всего, к использованию лесных запасов и отходов виноградной лозы. Как известно, на юге Украины отсутствуют промышленные запасы леса, но, вместе с тем, огромные площади земли отведены под виноградники. В процессе ухода за виноградным кустом требуется его ежегодная обрезка, а для юга Украины эти обрезки виноградной лозы являются солидным источником сырья.



Общеизвестно, что для нейтрализации легкорастворимых сахаров, препятствующих образованию цементного камня, а также для ускорения процесса твердения обычно вводятся различные химические добавки. При использовании гипса в качестве вяжущего отпадает необходимость в применении химических добавок, так как быстрота твердения гипса исключает вымывание легкорастворимых сахаров из лозы. Поэтому нами были проведены исследования по изготовлению строительных камней на основе гипса.

Измельченная виноградная лоза выбиралась без видимых признаков плесени и гнили. Размеры древесных частиц измельченной лозы не превышали по длине 80, а по толщине 10 мм. Содержание примесей различных минеральных веществ составляло не более 5 %.

В качестве гипсового вяжущего для изготовления лозолитовых образцов – кубов размером 20×20×20 см использовался строительный гипс марки Г-5 при водо-гипсовом отношении – 0,6. В процессе анализа результатов проведенных исследований было установлено, что прочность на осевое сжатие составила 4,5...4,7 МПа, а прочность образцов – балочек 10×10×40см была равна в пределах 2,5...2,8 МПа. При этом оптимальной оказалась сырьевая смесь с составом (по объему): дробленая виноградная лоза 50 % и гипс – 50 %. Дальнейшее увеличение объема лозы снижает прочность лозолита, так как гипсовое вяжущее не в состоянии обволакивать всю массу дробленой виноградной лозы, находящейся в образце.

Испытания образцов-балочек из лозолита при изгибе позволили выявить три стадии напряженно-деформированного состояния, аналогичные стадиям, известным из теории изгиба арболитовых элементов, а именно:

– первая стадия характеризует совместную работу наполнителя и вяжущего. Трещины здесь отсутствуют. При достижении величины растягивающих усилий временного сопротивления гипса растяжению образец переходит во вторую стадию напряженно-деформированного состояния;

– вторая стадия характеризуется появлением отдельных вертикальных и наклонных трещин в местах контакта лозы с гипсом, напряжения в образце возрастают. В местах образования трещин растягивающие усилия уже воспринимаются только лозой;

– третья стадия характеризуется разрушением образца, когда интенсивный рост деформаций в крайних волокнах ведет к снижению в них напряжений растяжения и, следовательно, вышерасположенные участки растянутой зоны более интенсивно деформируются.

Дальнейший анализ результатов испытаний показал, что водопоглощение лозолита в возрасте 10 дней составляет в среднем 49,5 % по массе. Это существенно ниже, чем у арболита – 60 %. Лозолит с течением времени снижает степень водопоглощения почти вдвое, так как с возрастом он уплотняется и древесный наполнитель надежно экранируется от воздействия воды. Дальнейшего уменьшения водопоглощения лозолита в конструкции можно достичь путем его офактуривания и нанесения на его поверхность различных гидрофобных пленок. Лозолит, не защищенный покрытием, может применяться в зданиях с относительной влажностью не более 60 %. Величина теплопроводности лозолита в сухом состоянии при плотности 600–800 кг/м<sup>3</sup> составила 0,15–0,27 Вт/(м°С). Строительный камень на основе отходов виноградной лозы можно рекомендовать для малоэтажного строительства как жилых так и общественных зданий.

УДК 666.97:[658.567:669](043.2)

*Лавринев П. Г.,*

*канд. техн. наук, и. о. доцента кафедры строительства  
и архитектуры, Черноморский государственный университет  
имени Петра Могилы, г. Николаев, Украина*

*Балицкий И. В.,*

*старший преподаватель кафедры строительства и архитектуры,  
Черноморский государственный университет имени Петра Могилы,  
г. Николаев, Украина*

## **БЕТОН С ДОБАВКОЙ ОТХОДА ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

В последнее время, в связи с интенсивным развитием химического производства и других отраслей промышленности, достаточно сильно загрязняется водный бассейн. Это приводит к большому расходу чистой воды и загрязнению водных объектов. Поэтому, согласно требованиям к химическим и другим производствам, запрещено сливать загрязненную воду в водный бассейн.

На предприятиях тяжелой индустрии, в цехах гальванического производства образуется значительное количество шламов гальваностокков, которые не загрязняют водный бассейн, но и значительно ухудшают экологическую обстановку в районе функционирования завода. Поэтому возникла необходимость в изучении и разработке возможных путей утилизации шламов водоочистки и гальванического производства.

По химическому составу осадки гальваностокков представлены оксидами тяжелых металлов. Основные фазовые составляющие – кальцит, кварц и аморфные вещества. Осадок отличается высокой дисперсностью, удельная поверхность которого –  $350 \text{ м}^2/\text{кг}$ .

Осадок сточных вод гальваники содержит примеси коллоидных соединений металлов, которые обволакивают прочной пленкой частицы материала, увеличивая их прочность и водостойкость. Кроме того, ионы металлов этого отхода, возможно, принимают участие в реакциях образования гидросиликатов кальция при твердении цемента, внедряясь в их решетку и уплотняя при этом структуру бетона.

Анализ существующей литературы по утилизации отходов подобного вида показал, что одним из самых эффективных способов «захоронения» шламов гальванического производства является использование их при производстве бетона и железобетона.

Для проведения экспериментальных исследований по изучению влияния шламов гальванического производства на свойства бетонной смеси и затвердевшего бетона нами были отобраны средние пробы гидроксидного осадка гальваностокков завода. При этом в исследованиях были использованы следующие материалы: крупный заполнитель – щебень из мраморовидного известняка фракции 5–20 мм, плотностью  $Y = 2620 \text{ кг/м}^3$ , мелкий заполнитель – морской песок из Скадовска модулем крупности 1,8–2,1, плотностью  $Y = 2590 \text{ кг/м}^3$ , вяжущее – портландцемент марки 400 Ольшанского цементного завода; вода – водопроводная питьевая. Состав бетонной смеси на  $1 \text{ м}^3$  бетона был принят следующим: портландцемента 340 кг, песка 780 кг, щебня 1210 кг, воды 160 л. Расход шламов гальванического производства, которые вводились в бетонную смесь вместе с водой затворения, составил 1–5 % от массы вяжущего. Бетонная смесь тщательно перемешивалась вручную. Стандартные образцы – кубы размером  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$  формовались на лабораторной виброплощадке в течение 2 минут, затем подвергались тепловлажностной обработке в пропарочной камере по режиму 2+3+8+2 ч (выдержка, подъем температуры, изотермический прогрев при 80–85°C, охлаждение). Затвердевшие бетонные образцы-кубы, как контрольные, так и со шламом гальваники, испытывались на прочность при осевом сжатии после тепловлажностной обработки и после твердения во влажных условиях в 28-суточном возрасте.

Анализ проведенных экспериментальных исследований показал, что шламы гальванопроизводства способствуют повышению подвижности бетонной смеси при одном и том же расходе воды ( $B=160 \text{ л/м}^3$ ), но при этом снижается прочность бетона на осевое сжатие (контрольные образцы без шламов имели прочность в 28-суточном возрасте 26,8 МПа,

а с 5 % шламов – 20,1 МПа). Во второй серии опытов расход воды в бетонной смеси со шламами был уменьшен до 145 л/м<sup>3</sup>. При этом подвижность бетонной смеси со шламом гальванического производства и без шлама, где расход воды был равен 160 л/м<sup>3</sup>, была одинакова. Испытания образцов-кубов на осевое сжатие показали, что прочность контрольных образцов и образцов со шламами в количестве 3 % от массы портландцемента оказалась примерно равной.

Таким образом, шламы гальванопроизводства можно добавлять в бетонную смесь в количестве 3 % от массы портландцемента. При этом физико-механические свойства затвердевшего бетона не ухудшаются, а подвижность бетонной смеси увеличивается с 4–5 см до 7–8 см.

УДК 658.7:658.8

*Попов К. К.,  
Чорноморський державний університет  
імені Петра Могили, м. Миколаїв, Україна*

## **УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АНАЛІЗУ АВС І XYZ**

У сучасних ринкових умовах метою господарської діяльності різноманітних підприємств є отримання максимального прибутку. Задоволення потреб споживачів у певній продукції або товарі є визначальними для стратегічного планування діяльності підприємства, одним із напрямів такої діяльності виступає управління запасами. При цьому у сфері управління запасами необхідно враховувати і оптимально поєднувати:

- 1) запроваджувати сучасні логістичні методи управління запасами;
- 2) маркетингові дослідження ринків і попиту споживачів;
- 3) забезпечувати ефективну взаємодію всіх підрозділів підприємства (відділи збуту, постачання і т. д.).

Управління запасами – це оптимізація запасів товарів, сировини й інших об'єктів діяльності підприємства з метою зменшення витрат на зберігання при забезпеченні рівня обслуговування й безперебійної роботи підприємства.

Прийняття рішень щодо товарного запасу має на меті підтримання оптимальної величини запасу. Малі запаси – це ризик несвоєчасного виконання замовлень споживачів. Великий запас – великі витрати на його утримання.

Компромісом може бути прийняття на основі ABC-XYZ аналізу рішення щодо розподілу товарів на 3 групи, залежно від того, які прибутки приносять і яким попитом користуються товари.

ABC-аналіз це інструмент, який дозволяє вивчити товарний асортимент, визначити рейтинг товарів за зазначеними критеріями і виявити ту частину асортименту, ABC-XYZ, яка забезпечує максимальний ефект.

Асортимент зазвичай аналізується за двома параметрами: обсяг продажів (реалізоване кількість) і отримується прибуток (реалізована торговельна націнка). ABC аналіз заснований на правилі Парето, згідно з яким 20 % асортиментних позицій забезпечує 80 % прибутку.

Практика показує, що 10 % позицій асортименту (група А) дають 80 % товарообігу; 15 % позицій асортименту (група В) дають 15 % товарообігу; 75 % позицій асортименту (група С) дають 5 % товарообігу.

З огляду на це, весь асортимент торгового підприємства можна розділити на групи за ступенем важливості.

Група А – дуже важливі товари, які завжди повинні бути присутніми в асортименті. Якщо в якості параметра в аналізі використовувався обсяг продажів, то в дану групу входять лідери продажів за кількістю. Якщо в якості параметра в аналізі використовувалася торгова націнка, то до цієї групи входять найбільш прибуткові товари.

Група В – товари середнього ступеня важливості.

Група С – найменш важливі товари, це претенденти на виключення з асортименту та товари-новинки.

Першим етапом проведення ABC-аналізу є визначення цілей. Якщо метою є скорочення асортименту, то в якості основних параметрів вибирається обсяг продажів, прибуток. Якщо метою є виявлення та скорочення витрат на підтримку запасів, то в якості основних параметрів вибирається коефіцієнт оборотності, обсяг неліквідів і займана складська потужність. Якщо потрібно досліджувати рентабельність, то в якості основного параметра вибирається коефіцієнт оборотності, рівень рентабельності. Дані ABC-аналізу допомагають оптимізувати товарний асортимент.

При всіх численних плюсах цього виду аналізу існує один значний мінус: даний метод не дозволяє оцінити сезонні коливання попиту на товари.

XYZ-аналіз – це інструмент, що дозволяє розділити продукцію по мірі стабільності продажів і рівня коливань споживання.

Метод даного аналізу полягає в розрахунку кожної товарної позиції коефіцієнта варіації або коливання витрати. Цей коефіцієнт показує відхилення витрати від середнього значення і виражається у відсотках.

Як параметр можуть бути: обсяг продажів (кількість), сума продажів, сума реалізованої торговельної націнки. Результатом XYZ-аналізу є угруповання товарів за трьома категоріями, виходячи з стабільності їхньої поведінки:

Категорія X, в яку потрапляють товари з коливанням продажів від 5 % до 15 %. Це товари, які характеризуються стабільною величиною споживання і високим ступенем прогнозування.

Категорія Y, в яку потрапляють товари з коливанням продажів від 15 % до 50 %. Це товари, які характеризуються сезонними коливаннями і середніми можливостями їх прогнозування.

Категорія Z, в яку потрапляють товари з коливанням продажів від 50 % і вище. Це товари з нерегулярним споживанням і непередбачуваними коливаннями, тому, спрогнозувати їх попит неможливо. Для прийняття більш обґрунтованих рішень, XYZ-аналіз часто застосовують одночасно з ABC-аналізом. Сумісний ABC-XYZ-аналіз у результаті групує товари на 9 класів (табл 1):

Таблиця 1

**Комбінація аналізів**

	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>X</b>	<b>AX</b> (Висока прибутковість. Регулярність продажів(закупівель). Високий Рівень прогнозованості продажу)	<b>BX</b> (Середня прибутковість. Регулярність продажів(закупівель). Високий Рівень прогнозованості продажу)	<b>CX</b> (Низька прибутковість. Регулярність продажів(закупівель). Високий Рівень прогнозованості продажу)
<b>Y</b>	<b>AY</b> (Висока прибутковість. Періодичність продажів(закупівель). Середній Рівень прогнозованості продажу)	<b>BY</b> (Середня прибутковість. Періодичність продажів(закупівель). Середній Рівень прогнозованості продажу)	<b>CY</b> (Низька прибутковість. Ре Періодичність гулярність продажів(закупівель). Середній Рівень прогнозованості продажу)
<b>Z</b>	<b>AZ</b> (Висока прибутковість. Нерегулярність продажів(закупівель). Низький рівень прогнозованості продажу)	<b>BZ</b> (Середня прибутковість. Нерегулярність (закупівель). Низький Рівень прогнозованості продажу)	<b>CZ</b> (Низька прибутковість. Нерегулярність продажів(закупівель). Низький Рівень прогнозованості продажу)

# ЗМІСТ

---

Наукова школа трибологів Національного авіаційного університету .....	3
--	---

## Секція ТРИБОЛОГІЯ

<i>Богатчук І. М., Прунько І. Б.</i> Аналіз зносу штоків насосів установок нафтогазового технологічного таспорту .....	12
<i>Боду С. Ж.</i> Экономический аспект применения высокопроизводительного инструмента .....	14
<i>Буря А. И., Арламова Н. Т., Фен Сян-Мин, Цуй Хун.</i> Влияние углеродных волокон на трибологические свойства полиэфирэфиркетона .....	17
<i>Диха О. В., Скрипник Т. К.</i> Дослідження впливу мідвмісних додатків до олив на зносостійкість трибосистем ковзання .....	19
<i>Кіндрачук М. В., Гуменюк І. А., Панарін В. Є., Катерленко В. Є.</i> Формування триботехнічних характеристик заевтектичних сплавів на основі заліза з тугоплавкими боридами .....	21
<i>Кротик И. А., Боду С. Ж.</i> Влияние технологических аспектов на ресурс дизелей .....	24
<i>Кубич В. И., Юдищенко А. В., Блощинская Н. В.</i> Прогнозная оценка диаметального износа гильзы цилиндра .....	26
<i>Мандзюк И. А., Присяжная Е. А.</i> Разработка смазочных материалов в рамках концепции «зеленой трибологии» .....	28

<i>Микосьянчик О. А., Мнацаканов Р. Г.</i> Износостойкость покрытия стали на чугуна в условиях качения с проскальзыванием.....	31
<i>Пастух І. М., Машовець Н. С.</i> Методи прогнозування результатів модифікації поверхні азотуванням в тліючому розряді .....	33
<i>Славін В. В.</i> Вплив системи каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів на екологічні показники автомобіля з системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком в умовах міського циклу .....	36
<i>Случак О. І., Андрєєв В. І.</i> Методи структуроутворення порошкових композитів з заданими експлуатаційними характеристиками .....	39
<i>Сорокатиий Р. В., Диха М. О.</i> Методи і моделі прогнозування зносостійкості циліндричних трибосистем ковзання .....	41
<i>Тарабрін О.І., Щербак Ю. Г.</i> Опори кочення з демпфірувальними елементами .....	44
<i>Шугай В. В., Прищепов О. Ф., Андрєєв В. І.</i> Конструкція жаростійкої кришки для кокілів відцентрового лиття .....	47
<i>Клименко Л. П., Дихта Л. М., Андрєєв В. І.</i> До теоретичного розв'язку задачі про забезпечення живучості артстволів .....	49

## Секція

### ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

<i>Бойко А. П.</i> Використання генетичних алгоритмів для вирішення багато параметричних оптимізаційних задач.....	52
--	----



<i>Лавринев П. Г.</i> Использование отходов пищевой промышленности в производстве бетона .....	54
<i>Лавринев П. Г., Зимінова М. Г.</i> Строительные материалы на основе отходов виноградной лозы .....	56
<i>Лавринев П. Г., Балицький І. В.</i> Бетон с добавкой отхода гальванического производства .....	58
<i>Попов К. К.</i> Управління запасами із застосуванням аналізу ABC і XYZ.....	60

**ДЛЯ НОТАТОК**

---

Технічний редактор, комп'ютерна верстка *Н. Андрєєва*.  
Друк, фальцовально-палітурні роботи *С. Волинець*.

Підп. до друку 25.05.2016 р.

Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Папір офсет.

Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.

Ум. друк. арк. 2,98. Обл.-вид. арк. 3,72.

Тираж 50 пр. Зам. № 5016.

Видавець і виготовлювач: ЧДУ ім. Петра Могили.

54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десанників, 10.

Тел. : 8 (0512) 50-03-32, 8 (0512) 76-55-81, e-mail: vrector@chdu.edu.ua.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3460 від 10.04.2009 р.

**Міжнародна науково-практична конференція**  
**«ОЛЬВІЙСЬКИЙ ФОРУМ – 2016»**

**АДРЕСА ОРГКОМІТЕТУ:**

Чорноморський державний університет імені Петра Могили,  
вул. 68 Десантників, 10,  
м. Миколаїв, 54003, Україна

Тел.: (+380512) 50-03-33  
(+380512) 50-03-32  
(+380512) 76-55-99  
Факс: (+380512) 50-03-33 / 50-00-69

E-mail: [of@chdu.edu.ua](mailto:of@chdu.edu.ua), [avi@chdu.edu.ua](mailto:avi@chdu.edu.ua)

WEB: <http://www.chdu.edu.ua>

