

Міністерство освіти і науки України  
Національна академія наук України  
КПІ ім.Ігоря Сікорського  
Механіко-машинобудівний інститут КПІ ім.Ігоря Сікорського  
Наукова рада з механіки твердого деформівного тіла НАН України  
Спілка інженерів – механіків КПІ ім.Ігоря Сікорського  
ТОВ «Прогрестех - Україна»  
АНТК «Антонов»  
Гідросила ГРУП  
Всеукраїнський інжиніринговий центр  
Федерація роботодавців машинобудівної промисловості  
Інститут проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАНУ  
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАНУ  
Інститут гідромеханіки НАНУ  
Інститут механіки ім. С.П. Тимошенко НАНУ  
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАНУ  
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАНУ  
ВАТ "Український науково-дослідний інститут авіаційної технології"  
Отто-фон-Геріке університет, м. Магдебург (Німеччина)  
Познанський університет технологій (Польща)  
Вроцлавський технологічний університет «Вроцлавська політехніка» (Польща)  
Міжнародна кафедра ЮНЕСКО (Київ)

# **МАТЕРІАЛИ**

## **ХІХ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ**

**присвяченої 120 річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та  
Механіко-машинобудівного інституту**

# **ПРОГРЕСИВНА ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ОСВІТА**

## **ТОМ 2**

**19 – 22 червня 2018 р.  
Київ, Україна**

**ОФІЦІЙНИЙ ПАРТНЕР**



УДК 612.7

**XIX Міжнародна науково-технічна конференція "Прогресивна техніка технологія та інженерна освіта", Том 2, м. Київ, 19 – 22 червня 2018 р.:** Матеріали конференції – Київ: 2018. – 252с.

До збірника включено матеріали представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень з сучасних проблем механіки деформівного твердого тіла, прогресивної техніки і технології машинобудування, ресурсозберігаючих процесів пластичної обробки матеріалів, актуальних проблем гідроаеромеханіки і мехатроніки, а також проблем авіаційної та ракетно-космічної техніки.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі машинобудування, буде корисним викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

***Підготовка до друку та верстка матеріалів конференції: к.т.н. Юрчишин О.Я.  
к.т.н. Семінська Н.В., м.н.с. Бабієнко І.І., к.т.н. Холявік О.В., Мусієнко О.С.***

Адреса оргкомітету: Національний технічний університет України "КПІ",  
Механіко-машинобудівний інститут, пр-т Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.  
Тел. (+38066) 071-23-52. E-mail: [seminska@ukr.net](mailto:seminska@ukr.net)

**Рекомендовано до друку рішенням програмного комітету конференції**

<b>Рябченко С.В.</b>	ШЛИФОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС КРУГАМИ ИЗ КУБИЧЕСКОГО НИТРИДА БОРА	174
<b>Сапон С.П., Космач О.П., Федориненко Д.Ю., Цеков Б.В., Безручко В.М.</b>	АДАПТИВНА СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПІДШИПНИКІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА	176
<b>Литвин О.В., Гаврушкевич Н.В.</b>	ПРОГРЕСИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ	178
<b>Гейчук В.М., Гаврушкевич А.Ю., Гаврушкевич Н.В.</b>	ПРОБЛЕМИ СТВОРЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОЇ ОБРОБКИ СКЛАДНОПРОФІЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ	181
<b>Волошко О.В., Вислоух С.П., Антонюк В.С.</b>	МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ	185
<b>Пермяков А.А., Клочко А.А., Гасанов М.И.</b>	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВОЙСТВ КРУПНОМОДУЛЬНЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ	189
<b>Алиев И.С., Таган Л.В., Корденко М.Ю.</b>	КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ВАРИАНТЫ ПРОЦЕССА БОКОВОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ОТРОСТКАМИ	192
<b>Алиева Л. И., Каргамышев Д.А., Махмудов К.Д.</b>	ОСОБЕННОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЫХ ДЕТАЛЕЙ С ФЛАНЦЕМ В ПРОЦЕССАХ КОМБИНИРОВАННОГО РАДИАЛЬНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ	196

СЕКЦІЯ **5**

*Авіаційна та ракетно-космічна  
техніка*

<b>Цыбенко А.С., Рассемакин Б.М., Рыбалка А.А., Шокрута Н.С.</b>	ДИНАМИЧЕСКИЕ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАНОСПУТНИКА POLYITAN-2 –SAU НА ЭТАПЕ ВЫВЕДЕНИЯ	200
<b>Маслей В.Н., Крищук Н.Г., Цыбенко А.С.</b>	МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ И СЛУЧАЙНЫХ ВИБРАЦИЙ ПАНЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ СКАНЕРА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА НА ЭТАПЕ ВЫВЕДЕНИЯ	204
<b>Маслей В.Н., Кулик А.С., Хорошилов В.С., Попель В.М.</b>	АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ	208

УДК 621.9.06: 621.822.176

## АДАПТИВНА СИСТЕМА ЖИВЛЕННЯ ГІДРАВЛІЧНИХ ПІДШИПНИКІВ ВИСОКОШВИДКІСНОГО ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА

Сапон<sup>1</sup> С.П., Космач<sup>1</sup> О.П., Федориненко<sup>1</sup> Д.Ю., Цеков<sup>2</sup> Б.В., Безручко<sup>1</sup> В.М.

1 - Чернігівський національний технологічний університет, м. Чернігів, Україна

2 - ТОВ «ПЕТ Технолоджіс Україна», м. Чернігів, Україна

***Анотація:** Представлено схемне рішення адаптивної системи живлення шпindelних гідравлічних підшипників технологічного обладнання. Експериментальним шляхом встановлено, що застосування частотно-регульованого приводу насоса в системі живлення шпindelних гідростатичних підшипників шпindelного вузла токарного прецизійного верстата дозволило підвищити показники енергоефективності об'ємного гідропроводу системи. Запропоноване схемне рішення гідравлічної системи живлення шпindelних опор з машинним регулюванням режимів подачі робочої рідини може бути використано для підвищення енергоефективності широкої номенклатури гідропроводів технологічного обладнання зі змінними режимами експлуатації.*

***Ключові слова:** система живлення, гідравлічні підшипники, шпindelний вузол, технологічне обладнання*

Одні з найважливіших показників ефективності процесів механічної обробки – точність, продуктивність, собівартість в основному забезпечуються формоутворюючими вузлами верстатів. Підвищення технічного рівня існуючих верстатів та успішне впровадження верстатів нового покоління залежить від можливості забезпечити високі показники якості та ефективності їх експлуатації.

В роботі [1] відмічено, що значний вплив на споживання електроенергії у процесі обробки чинить привод головного руху верстата (близько 30 %) і допоміжних верстатних вузлів (до 60% від загального споживання електроенергії).

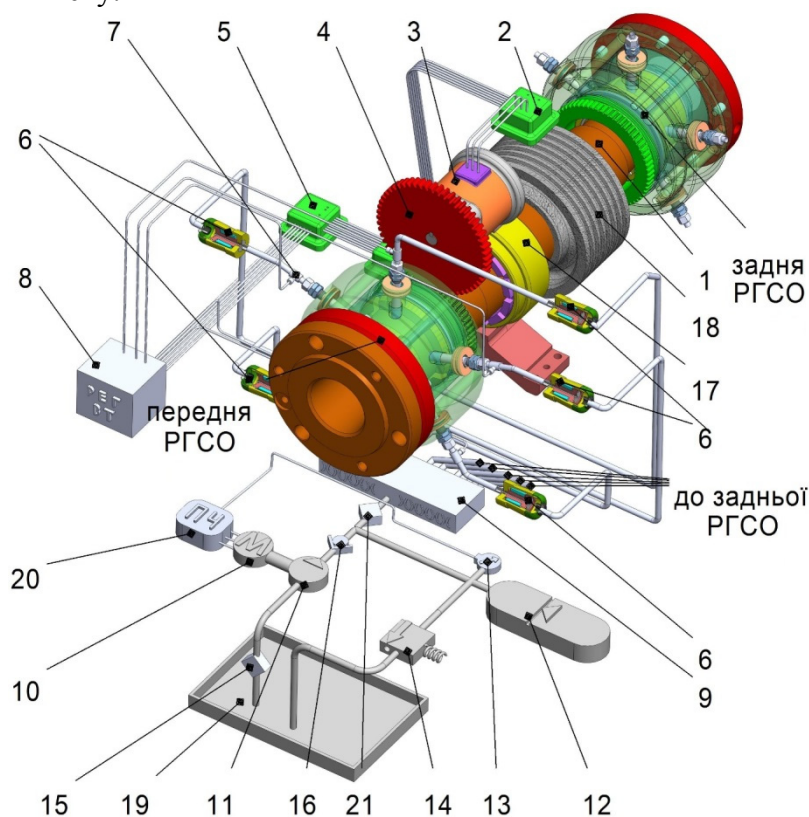
Застосування в якості опор шпindelних вузлів адаптивних гідравлічних опор є ефективним напрямком підвищення точності верстатів [2]. Суттєвою перевагою гідравлічних опор є можливість зниження експлуатаційних витрат завдяки регулюванню геометричних, експлуатаційних параметрів залежно від характеру технологічного навантаження. мають Достатньо низькі показники енергоефективності існуючих систем живлення гідравлічних шпindelних підшипників [3] зумовили актуальність виконання даної роботи.

В роботі [4] відмічено, що перспективними шляхами підвищення енергоефективності гідравлічних систем живлення опор обертових вузлів технологічного обладнання є регулювання режимами живлення та використання частотно-регульованого приводу насоса.

На рис. 1 наведено розроблену принципову конструкцію шпindelного вузла токарного верстата із адаптивною системою живлення гідравлічних опор шпинделя з використанням регульованих клапанів витрат, гідроакумулятора та частотно-регульованого приводу насоса. Для зменшення втрат потужності на в'язке тертя на високих швидкостях обертання шпинделя 1 використано конструкції регульованих гідростатодинамічних підшипників з несучими карманами еліпсоїдної форми з плавною зміною перерізу проточної частини [5, 6]. Таке конструктивне рішення дозволяє зменшити втрати потужності, обумовлені стрибкоподібною зміною перерізу проточної частини сегмента.

Живлення гідравлічних підшипників шпindelних опор здійснюється через регульовані клапани витрат рідини 6 (5 шт), пропускна здатність яких безступінчасто регулюється мікропроцесорним регулятором 5 з регулятором САК витратними характеристиками 8 залежно від частоти обертання шпинделя 1 та режимів мащення опори. В гідродинамічному режимі мащення та в режимі холостого ходу обладнання живлення підшипників здійснюється гідроакумулятором 12, насосна установка при цьому вимкнута. У разі зменшення тиску робочої рідини в системі живлення нижче попередньо встановленого значення датчик тиску 13 подає сигнал до мікропроцесора 8, що керує частотним перетворювачем 20. Частотний перетворювач

20 починає плавно збільшувати частоту вхідного струму асинхронного електродвигуна 10 приводу гідравлічного насоса 11, тим самим забезпечуючи плавне вмикання насосної установки для одночасного живлення підшипника та наповнення ємності гідроакумулятора 12 до необхідного значення тиску.



1 – шпindel, 2 – мікроконтролер, 3 – кроковий двигун, 4 – шестерня, 5 – мікропроцесорний регулятор, 6 – регульовані клапани витрат, 7 – давач тиску, 8 – регулятор САК витратними характеристиками, 9 – колектор, 10 – електродвигун, 11 – гідронасос, 12 – гідроакумулятор, 13 – давач тиску, 14 – розвантажувальний клапан гідроакумулятора, 15 – фільтр чорнової очистки, 16 – фільтр тонкої очистки, 17 – опорний підшипник, 18 – шків, 19 – гідравлічний бак, 20 – частотний перетворювач

**Рис.1. Принципова конструкція шпиндельного вузла токарного верстата з адаптивною системою живлення**

При перевищенні швидкості обертання шпинделя деякого граничного значення, що задається адаптивним регулятором 5, мікропроцесорний блок керування 8 припиняє подачу робочої рідини до програмно заданої кількості  $n$  карманів підшипника шляхом перекидання відповідних пропорційних клапанів витрат рідини 6. При цьому мащення підшипника здійснюється у гідродинамічному режимі.

З метою охолодження підшипника при роботі на високих швидкостях робоча рідина надходить до  $(k-n)$  карманів підшипника.

При зменшенні швидкості обертання шпинделя нижче попередньо встановленого граничного значення мікропроцесорний блок керування 8 шляхом регулювання пропускної здатності клапанів 6 відновлює подачу робочої рідини до всіх карманів підшипника. Система переходить до гідростатичного режиму мащення.

Під час роботи технологічного обладнання на холостому ході, подача робочої рідини до  $k$  карманів підшипника зменшується до мінімального значення, що забезпечується шляхом регулювання пропускної здатності пропорційних клапанів витрат 6 мікропроцесорним блоком керування 8.

В результаті експериментальних досліджень встановлено, що застосування частотно-регульованого приводу насоса в системі живлення гідростатичних підшипників шпиндельного

вузла токарного прецизійного верстата УТ16А дозволило знизити в 1,2 - 1,8 рази споживання електричної енергії двигуном приводу насоса системи живлення залежно від величини тиску робочої рідини в опорі.

Представлене схемне рішення гідравлічної системи живлення шпindelних опор з машинним регулюванням режимів подачі робочої рідини може бути використано для підвищення енергоефективності широкої номенклатури гідроприводів технологічного обладнання зі змінними режимами експлуатації.

**Список літератури:**

1. *Aspects of Energy Efficiency in Machine Tools* [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.heidenhain.us/enews/stories\\_1011/MTmain.php](http://www.heidenhain.us/enews/stories_1011/MTmain.php)
2. Федориненко Д.Ю. Шпindelні гідростатичні підшипники: монографія / Д. Ю. Федориненко, С.П. Сапон – Чернігів: ЧНТУ, 2016. – 405 с.
3. Пат. 89288 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатодинамічний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Хабібуліна А.М.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний 5 університет. - № u201314341; заявл. 09.12.2013; опубл. 10.04.2013, Бюл. № 7.
4. Підвищення енергоефективності технологічного обладнання з обертовими вузлами на гідравлічних опорах / [Д. Ю. Федориненко, С. П. Сапон, О. П. Космач, Б. В. Цеков ] // Прогресивні напрямки розвитку технологічних комплексів: збірник наукових праць IV Міжнародної науково-технічної конференції ТК-2016 (26–28 травня 2016 р., м. Луцьк). – Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2016. – С. 60 – 62.
5. Патент України на корисну модель 100782 UA, МПК F16C 32/06. Регульований сегментний гідростатодинамічний підшипник / Федориненко Д.Ю., Сапон С.П., Цеков Б.В., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u 201501544; заявл. 23.02.2015; опубл. 10.08.2015, Бюл. № 15.
6. Патент України на корисну модель 104015 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний сегментний гідростатичний підшипник / Сапон С.П., Цеков Б.В., Федориненко Д.Ю., Бойко С.В.; заявник і патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № u 201506272; заявл. 25.06.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1.

---

УДК 621.941

## ПРОГРЕСИВНЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ТОКАРНОЇ ОБРОБКИ ПОРШНЕВИХ КІЛЕЦЬ

**Литвин О.В., Гаврушкевич Н.В.**

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

*Анотація.* Розроблена та досліджена конструкція розтискного плунжерного патрона для закріплення комплектної заготовки поршневих кілець, що значно підвищує продуктивність та точність обробки деталей масової номенклатури, таких як поршневі кільця двигунів, компресорів з врахуванням особливостей технології обробки нежорстких легкодеформованих деталей.

**Ключові слова:** верстат, розтискний патрон, токарна обробка, кільце, момент сил тертя.

Сучасне автомобілебудування характеризується стрімким зростанням випуску автомобілів та збільшенням швидкості, потужності та надійності двигунів внутрішнього згорання. Це призводить до різкого зростання випуску одних з найбільш відповідальних та навантажених деталей двигуна, а саме поршневих кілець [1]. Поршневі кільця - це незамкнуті кільця, які з невеликим проміжком (до декількох сотих часток міліметра) посаджені в канавках на зовнішніх поверхнях поршнів в поршневих двигунах (таких як двигуни внутрішнього згорання або парові двигуни) і поршневих компресорах.

Незважаючи на гадану простоту, технологія виготовлення поршневих кілець є одним із найскладніших завдань машинобудування. Високі вимоги до точності розмірів, форми і