

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2019

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2019, Issue 2, Volume 271

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2019, № 2 (271)

Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії серії "Технічні науки"	Бойко Ю.М. , д.т.н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н. Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Говорушенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Каплун В.Г., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костоґриз С.Г., д.т.н., Лунтовський А.О., д.т.н. (Німеччина), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Сарібеков Д.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Ясній П.В., д.т.н., Tomasz Kalaczynski, PhD (Польща), Elsayed Ahmed Elnashar, PhD (Єгипет).

<i>Технічний редактор</i>	Горященко К. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 9 від 28.03.2019 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

☎	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		http://vestnik.ho.com.ua
			http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року

© Хмельницький національний університет, 2019
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2019

50 ПЛІДНИХ РОКІВ КАФЕДРИ ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

КАФЕДРА ГАЛУЗЕВОГО МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ЗА 50 РОКІВ РОЗБУДОВИ

В цьому році кафедрі галузевого машинобудування та агроінженерії виповнюється 50 років. На сьогодні кафедра забезпечує викладання не лише таких чисто загальноінженерних дисциплін, як «Теорія механізмів і машин», «Деталі машин», «Деталі машин і основи конструювання», «Підйнятно-транспортні машини», «Прикладна механіка», «Машинознавство», «Історія інженерної діяльності», «Автоматизація розрахунків в машинобудуванні», «Історія науки і техніки», а й цикл дисциплін, пов'язаних зі спеціальностями «Галузеве машинобудування» (спеціалізація «Машини та апарати харчових виробництв») та «Агроінженерія» (АІ), організовує всі види практик (навчальну, виробничу, конструкторсько-технологічну, переддипломну), курсове і дипломне проектування.

Викладання основних дисциплін кафедри «Теорія механізмів і машин» (ТММ) і «Деталі машин», які були закріплені за кафедрою деталей машин базового інституту, розпочате автором на загальнотехнічному факультеті в м. Хмельницький з вересня 1963 р., але вже у вересні 1964 р. на факультеті були організовані самостійні кафедри загальнонаукових і загальноінженерних дисциплін, в склад останньої входили згадані дисципліни. В грудні 1967 р. були створені кафедри «Опору матеріалів і деталей машин» та «Теоретичної механіки і теорії механізмів і машин», які в 1969 р. рішенням Мінвузу УРСР реорганізовані і була створена кафедра «Галузевого машинобудування та агроінженерії» (до 1989 р. вона мала назву «Деталей машин і теорії механізмів і машин», потім до 1998 р. – «Основи конструювання машин», 2017 р. – «Машинознавства»). Першим завідуючим кафедрою було обрано першого ректора інституту к. т. н., доц. Ганжурова С. М. На кафедрі в той час працювало 7 викладачів і 1 лаборант, з них три кандидати технічних наук (доц. Ганжуров С. М., ст. викладачі Іванов С. Г. і Каплун В. Г.), два старших викладачі (Добжанський Ю. Ф., Кіницький Я. Т.) і три асистенти (Костогриз С. Г., Андрійчук А. Ф., Гладкий Я. М.). Кафедра знаходилась у другому навчальному корпусі та займала дві кімнати загальною площею 120 м². В одній із кімнат була розташована лабораторія ТММ і кабінет кафедри, в іншій – кабінет деталей машин, які були частково обладнані ще в 1965-66 рр. ст. викладачами Кіницьким Я. Т. і Журавльовим І. М. У 1970 р. кафедрі були виділені нові приміщення в 3-му навчальному корпусі, площа яких складала 172 м². Зараз кафедра займає приміщення загальною площею 476,3 м², в яких розміщені лабораторія ТММ, кабінет деталей машин, кабінет підйнятно-транспортних машин, центр SolidWorks, лабораторія обладнання переробних і харчових виробництв, лабораторія обладнання громадського харчування, кабінет агроінженерії.

В 2000 р. при кафедрі була відкрита підготовка інженерів-механіків зі спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв», а в 2017 р. – «Агроінженерія», створена відповідна секція, завідувачем якої призначений д. т. н., проф. Стечишин М. С.

Зараз на кафедрі працює 11 штатних викладачів, із них 5 д. т. н. (Кіницький Я. Т., Костогриз С. Г., Олександренко В. П., Стечишин М. С., Харжевський В. О.), 6 доцентів, к. т. н. (Білик Ю. М., Курської В. С., Лук'янюк М. В., Марченко М. В., Мартинюк А. В., Медвечук Н. К.). Отже, всі викладачі на кафедрі мають наукові ступені, причому 45,5% – доктори наук. Навчально-допоміжний персонал – 3 чол.

Завжди основним принципом формування викладацького складу кафедри були і є високий професіоналізм викладачів, їх науковий потенціал і педагогічна майстерність. Шляхи досягнення цієї мети різні, основні з них наступні:

- а) запрошення викладачів з інших ВУЗів або підприємств (доц. Пастух І. М., доц. Сіліна Л. А., ст. викл. Добжанський Ю. Ф.);
- б) запрошення випускників аспірантури інших ВУЗів (Каплун В. Г., Костогриз С. Г., Береговий І. М., Стечишин М. С., Олександренко В. П.);
- в) направлення своїх викладачів в аспірантуру інших ВУЗів (Кіницький Я. Т., Білецький О. О.);
- г) шляхом співшукання (Семенюк М. Ф., Гладкова В. М.);
- д) навчання в аспірантурі університету (Медвечук Н. К., Лук'янюк М. В., Терещенко В. П., Терлецька О. В., Шалапко Ю. І., Харжевський В. О., Марченко М. В., Мартинюк А. В.,

Білик Ю. М.).

Останнім часом кафедра готує викладачів із числа студентів свого університету. У цьому випадку схема підготовки кандидатів наук наступна: 1) студентська науково-дослідна робота; 2) науково-дослідна робота у НДС; 3) аспірантура. Це дозволяє стабілізувати викладацький склад кафедри, підтримувати традиції кафедри та університету, часто більш просто розв'язуються житлові проблеми. Уже зараз на кафедрі половина штатних викладачів – випускники нашого університету (Білик Ю. М., Лук'янюк М. В., Марченко М. В., Мартинюк А. В., Медвечук Н. К., Харжевський В. О.), двоє навчаються в аспірантурі.

За час існування кафедри її викладачами та лаборантами проведена значна робота зі створення матеріальної бази, удосконалення навчальної, науково-методичної, науково-дослідної та виховної роботи. Під час переходу кафедри в новий навчальний корпус були переобладнані лабораторія ТММ і кабінет деталей машин. Особливо ефективно проводилась ця робота з 1.09.1971 р., коли кафедру очолив доц. Каплун В. Г. При цьому слід відмітити велику роботу з облаштування кафедри викладачів: доцентів Костогриза С. Г., Пастуха І. М., ст. викладачів Добжанського Ю. Ф., Кіницького Я. Т., асист. Нестеровського В. В. Це їм належить багато оригінальних розробок, зокрема їх руками протягом 1973 р. були заново переобладнані лабораторії кафедри і створені оригінальний кабінет деталей машин, що не має аналогів в інших ВУЗах України і СНД, сучасна лабораторія ТММ; в 1974 р. розпочате обладнання кабінету підйомально-транспортних машин, яке закінчене в 1996 р. Це дозволило вже в 1973 р. на базі кафедри провести I семінар-нараду завідувачів кафедрами деталей машин і ведучих викладачів ВНЗ України, а в 2002 р. – міжнародну науково-технічну та методичну конференцію «Механіка машин і механізмів», присвячену 40-річчю університету.

Викладачі кафедри приділяють значну увагу розробці навчально-методичної літератури, ними розроблено навчально-методичні комплекси з технічної механіки та теорії механізмів і машин, уніфіковані алгоритми розрахунку механізмів на ЕОМ, фізичні і комп'ютерні моделі механізмів, дидактичні матеріали (альбоми рисунків) до різних дисциплін кафедри, короткі довідники з теорії механізмів і машин та деталей машин, методика рейтингового оцінювання роботи професорсько-викладацького складу і наукових співробітників університету: 4 підручники, 12 навчальних посібників, 105 інших методичних розробок, призначених для організації самостійної роботи студентів, проведення практичних і лабораторних занять, виробничих практик, курсового та дипломного проектування з дисциплін кафедри, використання технічних засобів навчання. В 1997 р. проф. Кіницьким Я. Т. закінчено розробку, а старшим лаборантом Школярюк Ю. І. виготовлення комплексу кольорових (тіньових) моделей плоских механізмів (110 моделей), який дозволяє значно покращити наочність курсу ТММ. В 2005–2007 рр. аналогічні комп'ютерні моделі механізмів розроблені проф. Семенюком М. Ф. Протягом 1990–97 рр. було опубліковано повний текст лекцій з курсу ТММ (9 частин – 791 с.), який послужив основою відповідного підручника. Викладачі кафедри регулярно розробляють та оновлюють робочі програми дисциплін, методичні вказівки до практичних і лабораторних занять та курсового і дипломного проектування, які зараз відповідають освітнім програмам навчання бакалаврів і магістрів. Ними розроблено сотні навчальних програм для ЕОМ. В 1998 р. створено кабінет автоматизованого проектування, який завдяки старанням доц. Харжевського В. О. в 2011 році було переобладнано в центр SolidWorks.

В 1989 р. група викладачів (Каплун В. Г., Кіницький Я. Т., Пастух І. М.) за велику науково-методичну і виховну роботу нагороджена дипломом і премією Мінвузу України. Викладачі Каплун В. Г. і Кіницький Я. Т. у різні роки були нагороджені нагрудним знаком Мінвузу СРСР "За отличные успехи в работе", а проф. Кіницькому Я. Т., Семенюку М. Ф., Пастуху І. М. і доц. Сілінній Л. А., Білецькому О. О. присуджені звання "Відмінник освіти України". В 1980 р. проф. Костогриз С. Г. нагороджений орденом "Знак Пошани", а в 2000 р. йому присвоєно почесне звання "Заслужений працівник народної освіти України".

Поряд з навчально-методичною роботою колектив кафедри приділяє значну увагу науково-дослідній роботі, яка, в основному, виконуються за такими чотирма науковими напрямками: 1) тертя та зношування в машинах; 2) аналіз та синтез механізмів і машин; 3) міцність, зносостійкість та надійність машин і конструкцій; 4) технологія та обладнання хіміко-термічної обробки деталей та інструмента різними методами.

За останні 30 роки 21 викладачів, які працювали на кафедрі, захистили кандидатські дисертації, а 9 викладачів – докторські (Каплун В. Г., Семенюк М. Ф., Кіницький Я. Т., Костогриз С. Г., Стечишин М. С., Олександренко В. П., Пастух І. М., Шалапко Ю. І., Харжевський В. О.), причому доц. Семенюк М. Ф. захищав докторську дисертацію двічі – в ФРН і СРСР. Крім цього, під керівництвом професорів кафедри захистили кандидатські дисертації 14 викладачів інших

кафедр університету. В 1991 р. МВССО СРСР доц. Кіницькому Я. Т. вперше в університеті було присвоєне вчене звання професора без вченого ступеня доктора технічних наук.

В 1987 р. на базі кафедральної науково-дослідної лабораторії створена спільна АН і Мінвузу України лабораторія прогресивних методів зміцнення (наук. керівник – д. т. н., проф. Каплун В. Г.), яка в 1992 р. перетворена в Подільський науковий фізико-технологічний центр (ПНФТЦ, наук. керівник – д. т. н., проф. Каплун В. Г., директор – д. т. н., проф. Пастух І. М.). Лабораторії центру оснащені сучасним обладнанням, як правило, власного виготовлення за розробками Пастуха І. М., Лук'янюка М. В. та ін., яке необхідне для виконання наукових досліджень з безводневого іонного азотування, електроіскрового легування, комплексного зміцнення поверхонь металів. Потужності лабораторії дозволяють виконувати вказані технологічні процеси для потреб промислових підприємств і населення. Крім цього, в інших лабораторіях працює ряд експериментальних установок та стендів, деякі з них розроблені викладачами (Костогризом С. Г., Каплуном В. Г., Семенюком М. Ф., Стечишином М. С., Лук'янюком М. В. та ін.). Це обладнання дозволяє вести наукові дослідження з надійності та довговічності деталей машин й інструменту, з теорії тертя і зношування в машинах, у тому числі з фретинг-зношування і корозійно-механічного зношування металів в агресивних середовищах.

Викладачі кафедри беруть активну участь у житті університету: проф. Костогриз С. Г. був деканом механічного факультету, проректором університету з навчальної роботи, першим проректором; проф. Каплун В. Г. довгий час був проректором університету з наукової роботи, зараз директор НДІ трибології та матеріалознавства; проф. Олександренко В. П. – начальник науково-дослідного сектору університету, а зараз декан факультету інженерної механіки; деякий час посаду начальника науково-дослідного сектору університету займав проф. Стечишин М. С.; проф. Семенюк М. Ф. був керівником наукового семінару спеціалізованої вченої ради; проф. Кіницький Я. Т. 8 років очолював профсоюзну організацію професорсько-викладацького складу і співробітників університету, 5 років був заступником голови профкому, 3 роки – вченим секретарем спеціалізованої вченої ради з захисту докторських дисертацій, зараз виконує обов'язки голови рейтингового оцінювання НПП університету; доц. Лук'янюк М. В. – незмінний керівник студентського театру естрадних мініатюр (СТЕМ); доц. Медвечук Н. К. була секретарем ради механічного факультету, зараз заступник декана заочного факультету № 1; доц. Харжевський В. О. – відповідальний за впровадження в університеті системи комп'ютерного моделювання SolidWorks; доц. Мартинюк А. В. – відповідальний секретар приймальної комісії університету. У роботі спеціалізованої вченої ради з захисту докторських дисертацій беруть участь доктори наук кафедри. Колишній викладач кафедри доц., к. т. н. Матішин М. В. довгий час очолював кафедру безпеки життєдіяльності, доц., к. п. н. Гладкова В. М. очолювала кафедру педагогіки та психології, а проф., д. т. н. Гладкий Я. М. був деканом заочного факультету № 1, директором Інституту заочного та дистанційного навчання, проф., д. т. н. Шалапко Ю.І. в 2010 р. обраний завідувачем кафедри основ інженерної механіки.

Значна частина наукових розробок кафедри впроваджена у виробництво. Зокрема, результати досліджень, які виконані під керівництвом проф. Каплуна В. Г. і Пастуха І. М., впроваджені на десятках підприємств України та СНД. Розроблені технологічні процеси та обладнання екологічно чисті й дозволяють підвищити (залежно від умов експлуатації) зносостійкість деталей машин та металорізального інструменту в 1,5...3,5 рази, деревообробного інструменту в 3...5 разів, штампів, прес-форм і форм для литва в 1,8...3 рази, зменшити витрати електроенергії на 30...40% і газів у 8...10 разів у порівнянні з існуючими аналогами.

Розробки проф. Стечишина М. С. та доц. Лук'янюка М. В. впроваджені на Хмельницькому м'ясокомбінаті, Хмельницькій фірмі «АДВІС-Запчастина», ВАТ «Тернопільський комбайновий завод». На першому підприємстві впроваджені іонно-азотовані кутерні ножі для обробки ковбасного фаршу, що дозволило збільшити їх зносостійкість у 4 рази при переробці фаршу для ліверних ковбас і в 8...10 разів – для варених та копчених ковбас. На другому підприємстві в результаті впровадження розроблених технологій зміцнення зносостійкість матриці формування головки пальця після лазерної обробки збільшилась в 1,7 разу, а після комплексної ХТО – в 2,5 разу. При цьому зносостійкість матриць вирубних штампів після іонно-плазмового азотування на 40% вища ніж після хромування і, навпаки, зносостійкість матриць формувальних штампів у 1,5 разу вища після термодифузійного хромування. Впровадження на Тернопільському комбайновому заводі робочих коліс, ущільнюючих кілець і кришок насосів, хромованих розробленим способом (А. с. СРСР №1277633) дозволило збільшити термін їх служби: робочих коліс – до 6, кілець – до 7,5 і кришок – до 15 разів.

Наукові розробки проф. Каплуна В. Г., Кіницького Я. Т., Костогриза С. Г., Пастуха І. М.

впроваджені в навчальний процес. Зокрема, наукові розробки проф. Каплуна В. Г. лягли в основу спецкурсу “Підвищення міцності та зносостійкості деталей машин”, розробки проф. Костогриза С. Г. використовуються в спецкурсі “Теорія коливання та віброзахист”. Методи кінематичного аналізу та синтезу механізмів, розроблені проф. Кіницьким Я. Т., Семенюком М. Ф., Харжевським В. О., використовуються у курсі ТММ.

В сучасних умовах розвитку техніки та технологій майже неможливо собі уявити економічно вигідне виробництво без використання сучасних комп’ютерних технологій. Саме тому наш університет активно впроваджує технології комп’ютерного моделювання для підготовки інженерів-механіків.

На сьогоднішній день у світі існує значна кількість інженерних систем комп’ютерного моделювання, причому однією з найпотужніших є система твердотільного параметричного моделювання SolidWorks, яка широко використовується у світі та зокрема на провідних машинобудівних підприємствах України. Система SolidWorks призначена для проектування виробів будь-якої складності та призначення, при цьому повністю змінюється традиційна концепція проектування, що дозволяє у декілька разів скоротити терміни освоєння нової продукції у виробництві.

Саме тому у 2006 році на факультеті інженерної механіки розроблена програма наскрізної комп’ютерної підготовки інженерів на базі системи SolidWorks, а в 2011 р. на базі кафедри машинознавства (нині – кафедра галузевого машинобудування та агроінженерії) створено центр SolidWorks факультету інженерної механіки, в якому проводиться навчання та сертифікація студентів факультету, наукові семінари та курси підвищення кваліфікації для працівників промислових підприємств щодо сучасних методів комп’ютерного моделювання та інженерного аналізу у машинобудуванні.

Поряд з навчально-методичною роботою колектив кафедри приділяє значну увагу науково-дослідній роботі. За 50 років виконано майже 50 госпдоговірних і 20 дербюджетних НДР. Опубліковано 7 монографій, більше 670 наукових статей, у тому числі 18 в науково-метричній базі Scopus; одержано більше 170 авторських свідоцтв або патентів на винаходи, зроблено біля 630 наукових доповідей на різних науково-технічних конференціях. За ці роки 18 викладачів, які працювали на кафедрі, захистили кандидатські дисертації, а 9 викладачів – докторські. Крім цього, під керівництвом викладачів кафедри підготували та захистили кандидатські дисертації ще 10 викладачів інших кафедр університету. Багато наукових розробок викладачів кафедри впроваджені у виробництво. Кафедра підтримує творчі зв’язки з багатьма вітчизняними та зарубіжними навчальними і науковим закладами. При кафедрі працює аспірантура та докторантура.

В 1987 р. на базі кафедральної науково-дослідної лабораторії створена спільна АН і Мінвузу України лабораторія прогресивних методів зміцнення, яка в 1992 р. перетворена в Подільський науковий фізико-технологічний центр. Лабораторії центру оснащені сучасним обладнанням, як правило, власного виготовлення за розробками викладачів кафедри, яке необхідне для виконання наукових досліджень з безводневого іонного азотування, електроіскрового легування, комплексного зміцнення поверхонь металів, проведення наукових досліджень з надійності та довговічності деталей машин та інструменту, з теорії тертя і зношування в машинах, у тому числі з фретинг-зношування і корозійно-механічного зношування металів в агресивних середовищах. Потужності лабораторії дозволяють виконувати вказані технологічні процеси для потреб промислових підприємств і населення.

Кіницький Я.Т., д.т.н., професор,
завідувач кафедри галузевого
машинобудування та агроінженерії,
відмінник народної освіти України,
член Національного комітету України
з теорії механізмів і машин.

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

М. Є. СКИБА, М. С. СТЕЧИШИН, М. В. ЛУК'ЯНЮК, В. П. ОЛЕКСАНДРЕНКО БЕЗВОДНЕВЕ АЗОТУВАННЯ В ТІЛОЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕЗАЛЕЖНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПРОЦЕСУ	11
М. С. СТЕЧИШИН, А. В. МАРТИНЮК, Ю. М. БЛИК, В. С. КУРСКОЙ ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОГО ЗНОШУВАННЯ МЕТАЛІВ	17
М. П. МАЗУР, В. О. ХАРЖЕВСЬКИЙ ОСОБЛИВОСТІ 3D КОНСТРУЮВАННЯ ФАСОННИХ РІЗЦІВ У СЕРЕДОВИЩІ SOLIDWORKS	23
В. Г. ЗДОРЕНКО УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИВОДА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ ...	29
О. Ю. ВОЛЯНИК, І. В. ПЕТКО ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ОБИЧАЙКИ ТА ГРЕБЕНІВ БАРАБАНУ З ОБРОБЛЮВАНИМ МАТЕРІАЛОМ ПІД ЧАС ОБЕРТАННЯ БАРАБАНУ З ПІДВИЩЕНОЮ ШВИДКІСТЮ	32
Н. Р. ВЕСЕЛОВСЬКА, О. І. МАЛАКОВ, С. А. БУРЛАКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ НА РОБОЧІ ОРГАНИ І ПРИВОДИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ	37
Є. М. ЗАВЕРАЧ, О. І. СТРЕМЕЦЬКИЙ ІНГІБІТОРИ КОРОЗІЇ АЛЮМІНІЮ В ЛУЖНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	44
А. Л. БАШИНСЬКИЙ, С. А. ОСТАШЕВСЬКИЙ, С. Л. БУКОЄМСЬКИЙ ОЦІНКА СТАНУ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ПІДТРИМКИ ПАРКУ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ	49
В. В. ГОРІН, В. В. СЕРЕДА РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛООБМІНУ ПІД ЧАС КОНДЕНСАЦІЇ ХОЛОДОАГЕНТІВ У СЕРЕДИНІ МІНКАНАЛІВ	57
М. В. МАРЧЕНКО, В. О. ХАРЖЕВСЬКИЙ КІНЕМАТИЧНИЙ СИНТЕЗ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ З ПОДВІЙНОЮ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ	61
С. Л. ГОРЯЩЕНКО, К. Л. ГОРЯЩЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ІМПУЛЬСНОГО РОЗПИЛЕННЯ РІДИНИ КОЛИВАЛЬНИМ СОПЛОМ .	67

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Н. В. МИХАЙЛОВА, В. О. ПРИВАЛА ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ІЗОЛЮЮЧОГО КОСТЮМА ПРАЦІВНИКІВ ХІМІЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	72
О. В. НАХАЙЧУК, Е. А. ЗАХАРОВА, А. А. МІЗРАХ, О. В. МАРЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНИН З ВИКОРИСТАННЯМ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	76
А. В. НІКУЛІНА МЕТОДИ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМИ КОСТЮМА ЗА ПРИНЦИПОМ ХУСТКИ	80
О. П. КИЗИМЧУК, Л. М. МЕЛЬНИК, О. А. БОГУНОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ТИСКУ ЕЛАСТИЧНОГО ОСНОВОВ'ЯЗАНОГО ТРИКОТАЖУ	85

К. І. ПЕТКО, А. П. СТРОКАНЬ, Г. І. ХАРИТОНЕНКО УДОСКОНАЛЕННЯ ЛАБОРАТОРНОГО МЕТОДУ ОКИСНЕННЯ БЕНЗИЛОВИХ СПИРТІВ ДО ВІДПОВІДНИХ АЛЬДЕГІДІВ	91
Р. В. ГАРГАУН, О. М. КУНИК, Д. Г. САРІБЕКОВА, З. М. ПОПОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИЛКОНІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КОСМЕТИЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ПРЯМОГО ТИПУ	94
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Р. Л. ГАВРИЛЮК, Р. В. КРАВЧУК, В. О. ФЕРЕНС, В. М. ЧЕШУН МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ СХЕМ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ З ДОВІЛЬНИМ ДОСТУПОМ	99
А. А. МЯСИЦЕВ, В. М. ПОЛОЗОВА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ GPU И CPU ДЛЯ МАТРИЧНОГО УМНОЖЕНИЯ	102
Р. В. ХИНЕВИЧ, О. Л. ЯВОРСЬКИЙ СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОБРОБКИ ФОТОЗОБРАЖЕНЬ	111
О. С. САВЕНКО МЕРЕЖНИЙ МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ФАЙЛОВОГО ЗЛОВМИСНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ ЛОКАЛЬНИХ МЕРЕЖ	114
В. М. ДЖУЛІЙ, В. І. ЧОРНЕНЬКИЙ, О. О. САВІЦЬКА МЕТОД ВИЯВЛЕННЯ ТА ПРОТИДІЇ РОЗПОДІЛЕНИМ АТАКАМ, СПРЯМОВАНИМ НА ВІДМОВУ В ОБСЛУГОВУВАННІ	122
А. А. ТКАЧУК, В. Ю. ЗАБЛОЦЬКИЙ, Й. Р. СЕЛЕПИНА, С. А. МОРОЗ, Т. В. ТЕРЛЕЦЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ МЕРЕЖ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ	128
Т. М. МАНСУРОВ, Р. А. ГАНИФАЕВ СТАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА ВЫЗОВОВ В SOFTSWITCH	135
В. Ц. МІХАЛЕВСЬКИЙ, Г. І. МІХАЛЕВСЬКА ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ ВІРТУАЛІЗАЦІЇ СУЧАСНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО СУСПІЛЬСТВА	140
А. Ю. ШЛІНГ, П. І. ЖЕЖНИЧ МОДЕЛЬ ПОВЕДІНКИ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ У ПРОЦЕСІ ПЛАНУВАННЯ НАДАННЯ ОСВІТНИХ ПОСЛУГ НА ОСНОВІ ЛІНГВІСТИЧНОГО АНАЛІЗУ КОМУНІКАТИВНОЇ АКТИВНОСТІ В ОСВІТНИХ ВЕБ-СПІЛЬНОТАХ	145
І. В. ГУЛА, Л. В. КАРПОВА, В. М. МЕЛЬНИЧУК, О. І. ПОЛІКАРОВСЬКИХ МЕТОД ЗМЕНШЕННЯ ПЕРІОДИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ШУМІВ ЦИФРОВИХ СИНТЕЗАТОРІВ ПРЯМОГО СИНТЕЗУ	150
О. В. ОСАДЧУК, В. С. ОСАДЧУК, Я. О. ОСАДЧУК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГАЗОРЕАКТИВНОГО ЕФЕКТУ В НАПІВПРОВІДНИКОВИХ СЕНСОРАХ ГАЗУ	160
М. В. ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ, А. Ю. ВОЛОВИК, Р. П. ПАЛАМАРЧУК МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ДЖИТЕРУ В ЦИФРОВИХ РАДІОПРИЙМАЛЬНИХ ПРИСТРОЯХ	167
В. П. МАРЦЕНЮК, А. С. СВЕРСТЮК, О. А. БАГРІЙ-ЗАЯЦЬ, Н. В. КОЗОДІЙ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ БІОСЕНСОРІВ ТА ІМУНОСЕНСОРІВ	174
В. Г. ДОЗОРСЬКИЙ, Є. Б. ЯВОРСЬКА, О. Ф. ДОЗОРСЬКА, І. Ю. ДЕДІВ, Л. Є. ДЕДІВ, І. М. ПАНЬКІВ СТРУКТУРА СИСТЕМИ ВІДБОРУ БІОСИГНАЛІВ ДЛЯ ЗАДАЧІ ВІДНОВЛЕННЯ КОМУНІКАТИВНОЇ ФУНКЦІЇ ЛЮДИНИ	183

Д. В. ГАВРІЛОВ, А. Ю. ВОЛОВИК, Н. М. ГАВРІЛОВА, Н. В. КОФАНОВА, Д. В. ЯРОВИЙ УНІВЕРСАЛЬНИЙ РЕГІСТР НА ПЛІС	188
В. А. ДРУЖИНІН, В. О. МІЩЕНКО, Ю. М. БОЙКО, О. М. РУБАН РОЛЬ ТА ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЮ МЕРЕЖЕЮ, ПОБУДОВАНОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ БЕЗПРОВОДОВИХ РАДІОТЕХНОЛОГІЙ	192
С. С. ПЕТРОВСЬКИЙ ПОБУДОВА ІНФОРМАЦІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ВНЗ	199
В. ЧИГІНЬ, П. МИХАЙЛИШИН ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ БЕЗПЛОТНИЙ АВІАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ФОТОЗАХОПЛЕННЯ	202
ОБМІН ПРАКТИЧНИМ ДОСВІДОМ, ТЕХНОЛОГІЯМИ ТА ОБГОВОРЕННЯ	
Е. А. ЯРЕМЕНКО, Н. А. ЯРЕМЕНКО РАСЧЕТ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КЕССОННЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ	207
С. А. БУРЛАКА, В. В. ЯВДИК, А. П. ЄЛЕНИЧ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СПОСОБИ ОЦІНКИ ВПЛИВУ ПАЛИВ З ВІДНОВЛЮВАНИХ РЕСУРСІВ НА РОБОТУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА	212
ELSAYED A. ELNASHAR, ZEINAB E. ELNASHAR EGYPTIAN SCHOOL OF STEM AND THE NEEDS' FOR THE LABOUR MARKET OF TEACHER OF EXCELLENCE THROUGH HIGHER EDUCATION	221
А. А. МЯСИЦЕВ ПРОГРАММИРОВАНИЕ ESC РЕГУЛЯТОРОВ SIMONK-30A И EMAX SIMON-12A ЧЕРЕЗ ARDUINO И ПОЛЕТНЫЙ КОНТРОЛЛЕР	228
Ю. П. ЗАСПА ЯДЕРНИЙ ТА ГІДРОДИНАМІЧНИЙ БАФТИНГ, ФЛАТТЕР ТА КОЛАПС В ГЕТЕРОГЕННИХ СИСТЕМАХ: ПСЕВДООПЕРАТИВНА ВИХОР-ХВИЛЬОВА ДИНАМІКА І ТОПОЛОГІЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ ТА САЯНО-ШУШЕНСЬКОЇ КАТАСТРОФ	238

Н. Р. ВЕСЕЛОВСЬКА, О. І. МАЛАКОВ, С. А. БУРЛАКА
Вінницький національний аграрний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ НА РОБОЧІ ОРГАНИ І ПРИВОДИ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Метою досліджень є вивчення динаміки навантажень на робочі органи і виконавчі механізми зернозбиральних комбайнів, використовуючи різні методики. У процесі досліджень силових впливів на робочі органи і приводи зернозбиральних комбайнів були розроблені схеми установки перетворювачів механічних величин (силових впливів) в електричні. Поряд з цим за вказаними методами було проведено вибір застосовуваної апаратури, представлена оцінка похибок вимірювань і обґрунтування плану виконання випробувань, що забезпечують достовірність результатів. Досліджувалися зернозбиральні комбайни з гідравлічним приводом. Експериментальні дослідження силового впливу на робочі органи і приводи зернозбиральних комбайнів проводилися на полях відповідно до методик, які включали порядок проведення досліджень, вибір застосовуваної апаратури, оцінку похибок вимірювань, обґрунтування плану проведення випробувань, що забезпечують достовірність результатів, агрооцінку фону і технологічного процесу. В результаті експериментальних досліджень отримані такі параметри, як крутний момент, що діє на обертові робочі органи (молотильний барабан, мотовила і ротори зернозбиральних комбайнів, ротори, подрібнювачі кормозбиральних комбайнів, трав'яних косарок, зернові і колосові шнеки). Вимірювалися крутний момент на ведучих колесах зернозбиральних, кормозбиральних комбайнів і тракторів сільськогосподарського призначення. На підставі отриманих результатів зроблено висновок про те, що динаміка навантажень на робочі органи і виконавчі механізми зернозбиральних комбайнів в більшості випадків має нелінійний характер, а силові і енергетичні параметри зернозбиральних комбайнів в робочих режимах руху з невеликими швидкостями помітно нижчі, ніж в транспортних режимах з більш високими швидкостями, цю обставину необхідно враховувати під час проектування гідромеханічних трансмісій зернозбиральних комбайнів.

Ключові слова: гідравлічний привід, кінематичні параметри, статистичні характеристики, проектування гідромеханічних трансмісій, процеси навантаження робочих органів.

N. R. VESELOVSKA, O. I. MALAKOV, S. A. BURLAKA
Vinnytsia National Agrarian University

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE POWER IMPACT ON WORKING BODIES AND DRIVES OF COMBINE HARVESTERS

The aim of research was to study the loading dynamics on the working bodies and actuator mechanisms of combine harvesters. In the process of research of force impacts on the working bodies and drives of combine harvesters installation schemes of transducers of mechanical quantities (force impacts) into electrical ones have been designed. Along with this, by above procedures the choice of acquired equipment has been performed, error estimation evaluation and justification of performance test plan ensuring the accuracy of results, as well as background agri-estimation and technological process have been done. Harvester combines with hydraulic drive were investigated. Experimental studies of force influence on the working bodies and actuators of grain harvesters were carried out on fields in accordance with the methods. These techniques included the procedure for conducting research, the choice of equipment used, the measurement errors, the substantiation of the test plan that ensure the reliability of the results, as well as the agro-assessment of the background and the technological process. As a result of experimental studies such parameters as torque acting on the rotating working bodies (threshing drum, reel and rotors of combine harvesters, rotors and shredders of forage harvesters, grass mowers, grain and tailing screws) have been obtained. Torques on the drive wheels of grain, forage harvesters and tractors for agricultural purposes have been measured. On the basis of the obtained results a conclusion is made that the loading dynamics on the working bodies and actuators of combine harvesters in the majority of cases have a non-linear character, and the power and energy parameters of combine harvesters in the operating modes of motion at low speed is much lower than in the transport modes with a higher speed, and this fact must be considered when designing hydromechanical transmissions of combine harvesters.

Keywords: hydraulic drive, kinematic parameters, statistical characteristics, the design of hydromechanical transmission, the process of loading of the working bodies.

Вступ

Одним з напрямків підвищення енергонасиченості складних сільськогосподарських машин є заміна механічних передач для приводу робочих органів гідравлічними. Створення конкурентоспроможних на світовому ринку сільськогосподарських машин є актуальним завданням, тому рішення цього завдання в першу чергу пов'язано з питаннями підвищення надійності. Стає неможливим експлуатувати зернозбиральні комбайни, у яких 50% робочого часу доводиться на простої, пов'язані з недостатнім технічним рівнем і низькою надійністю. Слід зазначити низьку надійність елементів приводів, так як при експлуатації сучасних сільськогосподарських машин 30% відмов припадає на цю групу механізмів [1].

Однак гальмом повної гідрофікації сільськогосподарських машин є відставання вітчизняної промисловості в області виробництва гідронасосів і гідромоторів необхідної потужності і недостатній ресурс їх експлуатації. Але не менш важливою причиною відсутності таких машин є те, що практично немає досліджень складних просторових гідропроводів і, отже, методик їх розрахунку та проектування [1, 2].

В останні роки для приводу ходової частини в зарубіжних і вітчизняних самохідних сільськогосподарських машинах, а також при агрегуванні енергонасиченого трактора з машинами і

знаряддями, що мають активні робочі органи, все більше застосовується гідрооб'ємний привід. Серед зарубіжних фірм, широко застосовують трансмісії з гідрооб'ємним приводом, слід зазначити такі, як International Harvester, Allis Chaimers, John Deere, Claas, Deutz Fahz, Massey-Ferguson [2].

Як відомо, гідрооб'ємний привід має ряд істотних переваг перед кліноременевим варіатором: велику здатність компонування, можливість передачі великої потужності, широкий діапазон безступінчастого регулювання швидкості комбайна (реверсування), довговічність і надійність, що важливо під час проектування і створення мобільних сільгоспмашин.

Мета і задачі роботи

Об'єкт досліджень – зернозбиральні комбайни з гідравлічним приводом. Експериментальні дослідження силового впливу на робочі органи і приводи зернозбиральних комбайнів проводилися на полях відповідно до методик. Ці методики включали порядок проведення досліджень, вибір застосовуваної апаратури, оцінку похибок вимірювань, обґрунтування плану проведення випробувань, що забезпечують достовірність результатів, а також агрооцінку фону і технологічного процесу.

Аналіз останніх досліджень

Дослідженнями С. А. Алфьорова, Ю. В. Гринькова, Л. М. Грошева, В. В. Радіна, І. В. Ігнатенко, А. А. Тумакова, С. А. Юніченко, В. Б. Альчина, В. І. Майстренко, Н. П. Погорелова, В. К. Аснача встановлено, що надійність елементів конструкцій сільськогосподарських машин тісно пов'язана з динамічними явищами, супутніми функціонуванню машини. Досвід експлуатації авіаційної, верстатної і сільськогосподарської техніки показує, що значний відсоток відмов у роботі обумовлений руйнуванням з'єднань трубопроводів. Отже, з'єднання трубопроводів – найбільш слабка ланка в гідравлічних системах машин. Тому дослідження умов роботи сільгоспмашин і тракторів є однією з важливих і актуальних завдань сучасного машинобудування і дає можливість моделювати процеси, що відбуваються в гідросистемах на стадії проектування, а також створювати надійні конструкції з'єднання трубопроводів [3–5].

У зв'язку з цим метою досліджень було вивчення динаміки навантажень на робочі органи і виконавчі механізми зернозбиральних комбайнів.

Виклад основного матеріалу

Розробку оптимального плану експериментальних досліджень покажемо на прикладі дослідження крутного моменту, що виникає на молотильному барабані зернозбирального комбайна. З урахуванням ефектів

впливу різних параметрів на середнє значення крутного моменту було прийнято рівняння регресії:

$$M_B = a_0 + a_1q + a_2\lambda + a_3w + a_4q\lambda + a_5qw + a_6w\lambda, \tag{1}$$

де – крутний момент барабана, *кНм · м* ;

*a*_{0,1,2...5,6} – коефіцієнт функції доступу;

q – подача хлібної маси, *кг/с*;

w – середня вологість хлібної маси, %;

λ – зазор між бичами і підбарабанням на вході молотильного агрегату, *м*

Повний факторний експеримент типу 2³ повинен містити мінімальну кількість дослідів *N_{нф}*=8. Характеристика дослідів за таким факторним експериментом для різних можливих технологічних режимів представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика чинників в технологічних режимах роботи комбайна ACROS 550

Рівень фактору	Кодове значення	Фактор		
		<i>q</i> , кг/с	<i>λ · 10²</i> , м	<i>w</i> , %
Базовий	0	3,5	8	26
Верхній	+	6,0	16	28
Нижній	-	1,0	24	30
Інтервал варіювання		2,5	8	2

Таблиця 2

Характеристика чинників для транспортних режимів комбайна ACROS 550

Рівень фактору	Кодове значення	Фактор		
		Макроуклін поля <i>α</i> , градуси	Швидкість <i>V</i> , м/с	Заповнення бункера, %
Базовий	0	4	1,8	75
Верхній	+	8	3,0	100
Нижній	-	0	0,6	50
Інтервал варіювання		4	1,2	25

Аналогічно був побудований план факторного експерименту з метою встановлення рівняння

регресії для крутного моменту на ведучому колесі зернозбирального комбайна ACROS 550 для транспортних режимів. Характеристика факторів для транспортних режимів комбайна ACROS 550 представлена в таблиці 2.

За результатами дослідів з молотильним барабаном спочатку була досліджена модель першого порядку виду:

$$M_B = a_0 + a_1q + a_2\lambda + a_3w = 258 + 95,28q + 58,25\lambda + 14,25w. \quad (2)$$

Як бачимо, найбільший вплив робить фактор q (подача хлібної маси). Оцінка значущості коефіцієнтів регресії показала, що всі коефіцієнти статично значущі. Оцінка адекватності моделі (2) за критерієм Фішера показала, що:

$$F_{\text{табл}} = 36007 \leq F_{\text{розр}} = 3,5.$$

Отже, модель (2) неадекватно описує експериментальний матеріал, пошук адекватної функції за допомогою стандартних програм привів до моделі (1):

$$M_B = -241,2 + 137,2q + 129,2\lambda + 2,2\omega + 120,8q\lambda + 0,1q\omega + \omega\lambda. \quad (3)$$

Використання нелінійної моделі (3), отриманої на основі факторного експерименту, значно підвищує точність апроксимації. Коефіцієнт множинної кореляції тут становить $R=0,99$.

Якість функціонування зернозбиральних комбайнів регламентується відповідними агротехнічними вимогами. Реалізація цих вимог в умовах повної гідрофікації зернозбиральних комбайнів, природно, здійснюється їх гідравлічними приводами [6, 7].

Експериментальні дослідження проводилися з метою вирішення таких основних завдань:

- отримати матеріал по навантаженнях на робочі органи і виконавчі механізми зернозбиральних комбайнів;
- систематизувати отриманий в ході експериментів матеріал і сформувати базу даних по навантаженнях в гідросистемах зернозбиральних комбайнів.

В ході експериментів реєструвалися такі основні параметри: крутний момент, що діє на обертові робочі органи (молотильний барабан, мотовило, зерновоз і колосковий шнек) та крутний момент на ведучих колесах комбайна. Для вимірювання цих параметрів в ході досліджень використовувалися тензовали, тензошківки, тензомуфти, а при вимірі сил, що діють на об'єкти зворотно-поступальної дії (ріжучі апарати, штоки гідроциліндрів), тензометричні вставки, а саме тензоманометри або тензометри. Для оперативного отримання навантажувальних характеристик застосовувалися тензометричні підсилювачі і магнітоелектричні осцилографи, комп'ютерна техніка, тензостанції, а кутові і лінійні швидкості оцінювалися за допомогою тахогенераторів, індуктивних датчиків імпульсів.

Експериментальні дослідження навантаження різних сільськогосподарських машин показали, що більшість процесів навантаження їх робочих органів і механізмів є нестационарними випадковими. У зв'язку з цим під час обробки експериментального матеріалу виявилось доцільним на окремих відрізках кількості зібраного врожаю центрувати ці процеси і окремо розглядати постійну складову, а змінну відносити до стационарних випадкових процесів [8, 9].

При цьому залежність середніх значень навантажень і кінематичних параметрів від режимів та умов експлуатації зернозбиральних комбайнів визначалася за допомогою методів планування експериментів. Статистичні характеристики випадкового навантаження отримані за допомогою методів обробки експериментального матеріалу з позицій теорії стационарних випадкових процесів.

На рис. 1 і 2 представлені типові графіки і осцилограми перехідних процесів крутних моментів і зусиль, що виникають у виконавчих механізмах зернозбиральних комбайнів ACROS 550.

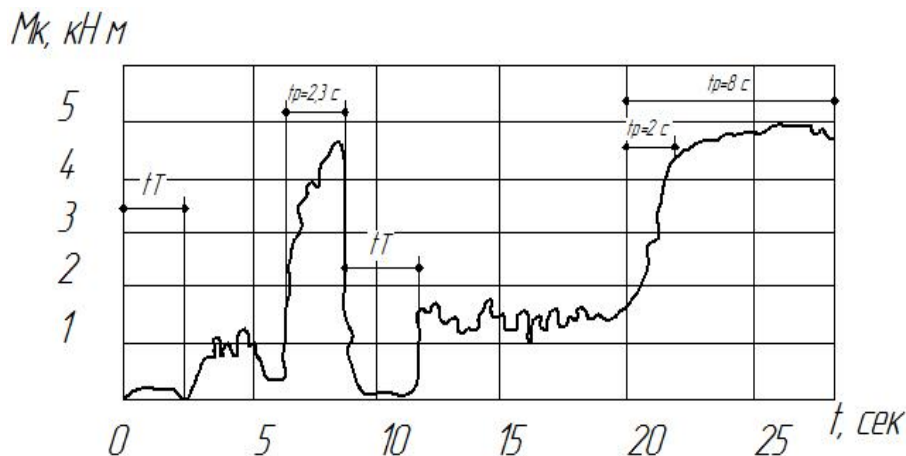


Рис. 1. Графік перехідних процесів в механізмі приводу під час руху по пересіченій місцевості

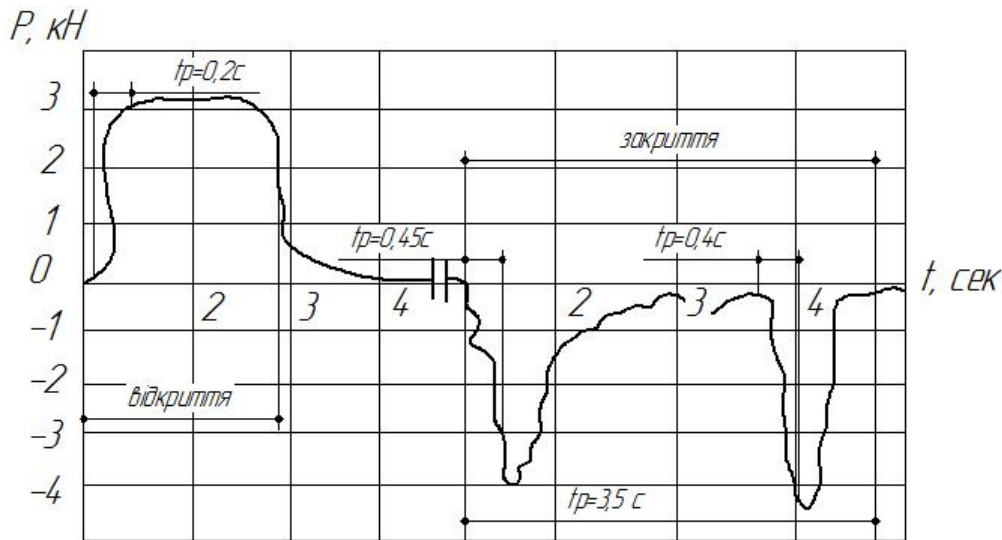


Рис. 2. Зміна зусилля на штоку гідроциліндра копачника

З осцилограм процесу пуску були визначені також коефіцієнти динамічності навантаження (K_d) як відношення максимального моменту (M_{max}) або сили (P_{max}) у виконавчому механізмі до середнього значення цих параметрів (M_c і P_c) в період сталого руху при виконанні технологічного процесу:

$$K_d = \frac{M_{max}}{M_c} \text{ або } K_d = \frac{P_{max}}{P_c}.$$

У зв'язку з тим, що M_c і P_c залежать від параметрів технологічних процесів, що виконувалися машиною (швидкості пересування, глибини обробітку ґрунту, зазорів в молотильному барабані тощо), в таблиці 3 представлені значення K_d з урахуванням властивостей параметрів.

Таблиця 3

Параметри динамічних навантажень

Назва механізму	Коефіцієнт динамічного навантаження K_d	Швидкість зростання пускового навантаження V_n , кН*м/с
Момент на ходовому колесі зернозбирального комбайна	2,25-3,50	2,5-3,5
Момент на ходовому колесі машинно-тракторних агрегатів	3,5-4,5	2,5-3,0
Момент на молотильному барабані зернозбирального комбайна (класична схема)	3,5-4,0	3,5-5,5
Момент на молотильному барабані зернозбирального комбайна (ротаторний варіант)	5,5-6,0	4,5-6,5
Момент на фрезі культиватора	1,5-2,0	6,5-8,5

Якщо позначити швидкість росту пускового навантаження V_n , то в загальному випадку можна записати:

$$V_n(t) = \frac{dM(t)}{dt} \text{ або } V_n(t) = \frac{dP(t)}{dt}. \tag{4}$$

Так як аналітичні вирази для $M(t)$ і $P(t)$ в ряді випадків отримати важко, диференціювання в формулах (4) розраховувалися чисельно, в кінцевих інтервалах:

$$V_{ni} = \frac{\Delta M_i}{\Delta t} \text{ або } V_{ni} = \frac{\Delta P_i}{\Delta t},$$

де ΔM_i , і ΔP_i – приріст силових факторів на i -й ділянці;

Δt – обраний інтервал, а саме інтервал квантування часу.

Інтервал Δt вибирався з таким розрахунком, щоб визначити не менше десяти значень V_{ni} , тому обчислення V_{ni} дозволило отримати максимальну величину зростання швидкості пускового навантаження V_{nmax} (таблиця 3).

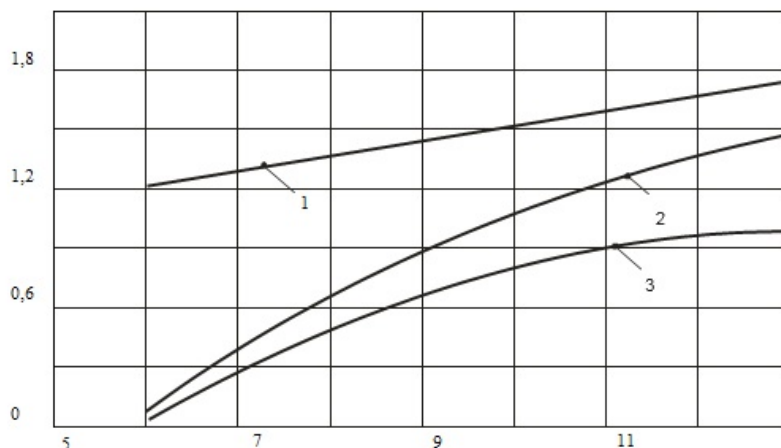
Аналіз осцилограм перехідних процесів показав, що їх тривалість залежить від пружно-дисипативних характеристик гідромеханічних систем зернозбиральних комбайнів. При цьому тривалість

наростання навантаження становить від 2 до 13% загального часу процесу.

Параметри силових впливів в механізмах при сталих режимах їх функціонування розглянуті окремо в залежності від виду руху, що здійснюється їх виконавчими ланками: поступального, обертального, зворотно-поступального [10–13].

На рисунку 3 представлені як приклад графіки зміни крутного моменту M_k в приводі ріжучого апарату зернозбирального комбайна ACROS 550 залежно від подачі ножа h .

M_k , кН*м



$h \cdot 10^{-3}$, м

Рис. 3. Графіки зміни крутного моменту в приводі ріжучого апарату зернозбирального комбайна ACROS 550

Середні значення крутних моментів на ходових колесах зернозбирального комбайна ACROS 550 представлені в таблиці 4. В ній вказані середні значення на одному ходовому колесі, а також сумарна потужність, витрачена тільки на пересування комбайна.

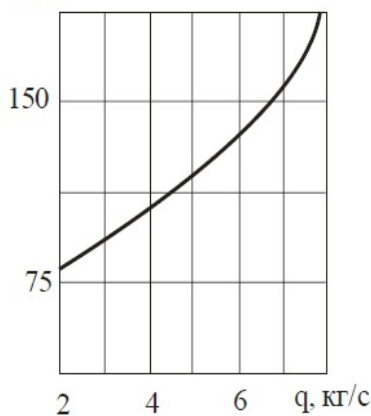
Таблиця 4

Середні значення на ходових колесах зернозбирального комбайна ACROS 550

Маса при повному навантаженні, кг	Характеристика агрофону		Швидкість руху V , м/с	Момент на ходовому колесі M_k , кН*м	Потужність, що затрачується на пересування N , кВт
	Вид	Кут підйому, град.			
17800	Стерня	$\pm 0,3$	0,83-1,40	8,0-9,0	6,5-17,0
	Стерня	$\pm 6,5$	0,75-2,25	25,2-28,7	17,5-71,0
	Стерня	$\pm 8,0$	0,86-1,47	24,6-34,5	47,0-75,5
	Стерня	$\pm 0,3$	2,80-3,10	9,0-12,8	20,0-36,0

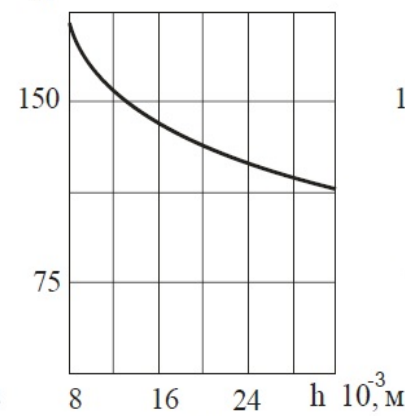
Експерименти проводилися при повному завантаженні бункера комбайна і русі по стерні з різним ухилом поля (враховувався мікрорельєф), а також по дорозі на різних швидкостях руху.

M_k , кН*м



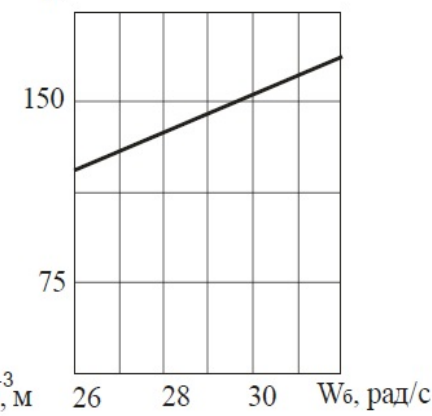
а)

M_k , кН*м



б)

M_k , кН*м



в)

Рис. 4. Залежність крутного моменту M_k на молотильному барабані зернозбирального комбайна ACROS 550: а – від подачі хлібної маси q ; б – зазору між бичами і підбарабанням h ; в – окружної швидкості бичів W_b

Аналіз результатів, наведених у таблиці 4, показує, що силові і енергетичні параметри зернозбиральних комбайнів в робочих режимах руху з невеликими швидкостями помітно нижчі, ніж в транспортних режимах з більш високими швидкостями. Отримані дані доцільно враховувати при проектуванні гідромеханічних трансмісій зернозбиральних комбайнів.

Характер зміни крутного моменту на молотильному барабані зернозбирального комбайна ACROS 550 показано на рис. 4.

Залежність крутного моменту на мотовилі зернозбирального комбайна ACROS 550 від зміни ставлення швидкості мотовила V_m до швидкості руху комбайна V_k показана на рис. 5.



Рис. 5. Графік зміни крутного моменту на мотовилі зернозбирального комбайна ACROS 550 при зміні ставлення швидкості мотовила V_m до швидкості комбайна V_k

Висновки

1. Вплив різних технологічних параметрів на середні значення процесів навантаження об'ємного гідравлічного приводу зернозбиральних комбайнів носить в більшості випадків нелінійний характер.
2. Зі збільшенням ширини захвату жатки, подачі маси в молотильний апарат середні значення силових факторів зростають.
3. Середні значення крутного моменту і потужності на ходовому колесі в робочих режимах руху комбайна істотно нижчі, ніж в транспортних.
4. Зі збільшенням швидкості руху зернозбиральних комбайнів і висоти нерівностей рельєфу поля середні значення навантажень на штоках гідроциліндрів механізмів позиціонування зернозбиральних комбайнів збільшуються. При дворазовому збільшенні швидкості руху комбайна навантаження на штоках гідравлічних циліндрів збільшуються в 1,2-1,5 разу.
5. Спектр навантажень в механізмах приводу на хід зернозбиральних комбайнів істотно залежить від агрофону і відрізняється при переміщенні по стерні.
6. Отриманий в результаті експериментальних досліджень матеріал і систематизація динамічних навантажень в виконавчих механізмах зернозбиральних комбайнів може бути використаний при проектуванні, розрахунках і виборі форм робочих органів ґрунтообробних машин, а також розробці заходів і рекомендацій щодо підвищення надійності гідравлічних систем комбайнів.

Література

1. Основи проектування сільськогосподарських машин: підручник / [Ю. І. Ермольєв, А. Д. Чистяков, В. А. Андросов, А. А. Баранов, А. І. Вальтер] ; під ред. Ю. І. Ермольєва. – Тула: Гріфік, 2006. – 604 с.
2. Комбайни очами випробувача [Електронний ресурс] // The Ukrainian Farmer. – 2014. – № 6. – Режим доступу : http://www.agrotimes.net/journals/article/kombajni_ochami_viprobuvacha.
3. Білоусько Я.К. Техніко-технологічне забезпечення сільського господарства / Я.К. Білоусько // Економіка АПК. – 2009. – №12. – С. 29–33.
4. Геєць В.М. Стратегічні виклики XXI століття суспільству та економіці України: Інноваційно-технологічний розвиток економіки / В.М. Геєць, В.П. Семиноженко, Б.С. Кваснюк. – К. : Фенікс, 2007. – 564 с.
5. Кононенко, М.П. Обґрунтування оптимізації нормативних витрат на виробництво сільськогосподарської продукції / М.П. Кононенко // Економіка АПК. – 2009. – № 6. – С. 32.
6. Аналіз технологій заготівлі сіна та сінажу / В. П. Комаха, С. А. Бурлака, І. М. Копчук, Р. О. Яцковська. // Сільське господарство та лісівництво. – 2018. – № 11. – С. 123–131.
7. Малаков, О. І. Зниження навантаження елементів конструкції моста керованих коліс самохідної косарки шляхом раціональної установки гідроциліндрів / О. І. Малаков, С. А. Бурлака, Р. О. Ярошук //

Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 4. – С. 56–62.

8. Комплексна програма розвитку сільського господарства Житомирської області у 2009–2010 роках та на період до 2015 року / М.М. Дейсан [та ін.]. – Житомир : Рута, 2009. – 304 с.

9. Лукінов І.І. Вибрані праці : у 2 кн. Кн. 2 / І.І. Лукінов. – К. : ННЦ ІАЕ, 2007. – 794 с.

10. Мазнев Г.Є. Методичний підхід щодо обґрунтування територіального розміщення ремонтно-обслуговуючих підприємств / Г.Є. Мазнев // Економіка АПК. – 2019. – № 11. – С. 102–108.

11. Наукові основи агропромислового виробництва в зоні Полісся і західного регіону України / редкол. : В.М. Зубець [та ін.]. – К. : Урожай, 2004. – 560 с.

12. Підлісецький Г.М. Економічні проблеми технічного забезпечення сільського господарства / Г.М. Підлісецький // Економіка України. – 2008. – №11. – С. 81–87.

13. Саблук П.Т. Агропромисловий комплекс в системі зовнішньоекономічної діяльності України / П.Т. Саблук, А.А. Фесина, В.І. Власов та ін. – К. : ННЦ ІАЕ, 2005. – 242 с.

References

1. Fundamentals of designing agricultural machines: textbook / Yu.I. Ermoliev, A.D. Chistyakov, V.A. Androsov, A.A. Baranov, A.I. Walter; ed. Yu. I. Yermoleva. – Tula: Griffik, 2006. – 604 p.

2. Combines with the eyes of the test [Electronic resource] // The Ukrainian Farmer. – 2014. – № 6. URL: http://www.agrotimes.net/journals/article/kombajni_ochami_viprobuvača.

3. Belousko Ya.K. Technical and technological support of agriculture / Ya.K. Belousky // Economy of agroindustrial complex. – 2009. – № 12. – P. 29–33.

4. Geets VM Strategic Challenges of the XII Century Society and Economy of Ukraine: Innovative Technological Development of the Economy / V.M. Heyets, V.P. Seminozhenko, B.S. Kvasnyuk. – K. : Phoenix, 2007. – 564 pp.

5. Kononenko M.P. Substantiation of optimization of standard costs for agricultural production / M.P. Kononenko // Economy of agroindustrial complex. – 2009. – No. 6. – P. 32.

6. Analysis of technologies of hay and hay harvesting / V.P. Komakh, S.A. Burlak, I.M. Kopchuk, R.O. Yatskovskaya // Agriculture and forestry. – 2018. – №11. – P. 123–131.

7. Malakov O. I. Reduction of the structural elements of the bridge of the controlled wheels of the self-propelled mower by the rational installation of the hydraulic cylinders / O. I. Malakov, S. A. Burlak, R. O. Yaroshchuk. // Bulletin of the Khmelnitsky National University. – 2018. – № 4. – P. 56–62.

8. Complex program of development of agriculture in Zhytomyr region in 2009-2010 and for the period till 2015 / M.M. Deissan [and others]. – Zhytomyr : Ruta, 2009. – 304 с.

9. Lukinov I.I. Selected works: in 2 books. / I.I. Lukinov. – Kn. 2. – K. : NSC IAE, 2007. – 794 p.

10. Maznev G.Ye. Methodical Approach to Grounding the Territorial Position of Repair and Service Enterprises / G. Ye. Maznev // Economy of the agroindustrial complex. – 2019. – No. 11. – P. 102–108.

11. Scientific fundamentals of agro-industrial production in the area of Polissya and the western region of Ukraine / redkol: V.M. Zubets [and others]. – K.: Harvest, 2004. – 560 p.

12. Pidysetskii G.M. Economic problems of agricultural technical support / G.M. Pidysetskij // Economy of Ukraine. – 2008. – No. 11. – P. 81–87.

13. Sabluk P.T. Agroindustrial complex in the system of foreign economic activity of Ukraine / P.T. Sabluk, A.A. Fesina, V.I. Vlasov and others. – K. : NSC IAE, 2005. – 242 p.

Рецензія/Peer review : 11.2.2019 р.

Надрукована/Printed : 10.4.2019 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Анісімов В. Ф.

16. Denisov Ju. N. Mehanizm detonacionnogo sgoranija / Ju. N. Denisov, Ja. K. Troshin // PMTF. – 1960. – № 1. – S. 21–35.
17. Pahomov S. A. Ocenka velichiny mgновенного jenergovydelenija pri avarii reaktora na ChAJeS / S. A. Pahomov, Ju. V. Dubasov // Trudy Radievogo instituta im. V. G. Hlopina. – 2009. – T. XIV. – C. 79–86.
18. De Geer L.-E. A Nuclear jet at Chernobyl Around 21:23:45 UTC on April 25, 1986 / L.-E. De Geer, C. Persson, H. Rodhe // Nuclear Technology. – 2018. – V. 201, № 1. – R. 11–22.
19. Bryzgalov V. I. Iz opyta sozdaniya i osvoenija Krasnojarskoj i Sajano-Shushenskoj gidrojelektrostantsij / Bryzgalov V. I. – Krasnojarsk : Izd. dom “Surikov”, 1999. – 561 s.
20. Kljukach A. A. Vlijanie asimetrii spiral'noj kamery na vibracii gidroagregata [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.plotina.net/experts/kljukach>
21. Kljukach A. A. O vibracii na agregate № 2 SShGJeS do avarii. Diskussii [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://tayga.info/details/2011/02/02/~102283>
22. Babachenko Ju. V. Raschetnoe issledovanie radial'nyh sil, dejstvujushhij na rotor radial'no-osevoj gidroturbiny / Ju. V. Babachenko, A. Ju. Avdjushenko // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2013. – T. 15, № 4(2). – S. 547–552.
23. Marchuk A. N. Geologicheskie i geodinamicheskie aspekty v komplekse prichin avarii na Sajano-Shushenskoj GJeS / A. N. Marchuk // Gidrotehnicheskoe stroitel'stvo. – 2012. – № 1. – S. 48–57.
24. Lobanovskij Ju. I. Gidroakusticheskij busting – sposob vzbuzhdenija katastroficheskij avtokolebanij v napornoj sisteme Sajano-Shushenskoj GJeS [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://synerjetics.ru/article/busting.htm>
25. Akt tehničeskogo rassledovanija prichin avarii, proishedshej 17 avgusta 2009 goda v filiale Otkrytogo Akcionernogo obshhestva “RusGidro” – “Sajano-Shushenskaja GJeS imeni P. S. Neporozhnego”. – M. : Rostehnadzor, 2009. – 50 s.
26. Rassohin G. O razrushenii uzla krepjenija kryshki turbiny gidroagregata № 2 SShGJeS [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://www.plotina.net/sshges-rassokhin-4/>
27. Bicol. Chastnoe Rassledovanie tehničeskij prichin avarii gidroagregata № 2 Sajano-Shushenskoj GJeS [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu : <http://samlib.ru/b/boris-i-k/sajanges-rassledovanie.shtml/>

Рецензія/Peer review : 27.3.2019 р.

Надрукована/Printed : 11.4.2019 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Олександренко В. П.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису **<http://vestnik.ho.com.ua/rules/>**

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 9 від 28.03.2019 р.**

Підп. до друку 29.03.2019 р. Ум.друк.арк. 38,22 Обл.-вид.арк. 42,47
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63