



Підйомно-транспортні машини

УДК 621.01

*В.С. Ловейкін, д.т.н., професор,
К.І. Почка, к.т.н., доцент,
В.Т. Бажан, к.т.н., доцент,
Д.А. Паламарчук, асистент,
Д.О. Міщук, асистент,
О.Г. Шевчук, аспірант,
Г.В. Шумілов, аспірант*

РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ НАУКОВОГО НАПРЯМКУ “ДИНАМІКА І ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ РУХУ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН”

***АННОТАЦИЯ.** Приведены результаты научных исследований динамики и оптимизации режимов движения строительных и грузоподъемных механизмов и машин за 10 лет существования кафедры основ профессионального обучения КНУСА.*

***Ключові слова:** динаміка, оптимізація, режими руху, механізм, машина.*

***АННОТАЦИЯ.** Наведено результати наукових досліджень динаміки і оптимізації режимів руху будівельних та вантажопідйомних механізмів і машин за 10 років існування кафедри основ професійного навчання КНУБА.*

***Ключевые слова:** динамика, оптимизация, режимы движения, механизм, машина.*

***ANNOTATION.** The results of work of the “Dynamics and optimization of the modes of motion as to mechanisms and machines” Scientific School of the Basics of Professional Education Department of the Automatization and Information Technologies Faculty of KNUCA for 10 years of the department existence are presented.*

***Key words:** dynamics, optimization, mode of motion, mechanism, machine.*

Вступ. Науковий напрямок “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” присвячений розробці теоретичних основ синтезу режимів руху і характеристик приводних механізмів будівельних та вантажопідйомних машин. Дослідження за цим напрямком виконуються на кафедрі основ професійного навчання КНУБА з моменту її заснування у 2002 році.

Метою даної роботи є висвітлення основних тематик досліджень даного наукового напрямку та результатів досліджень.

Виклад основного матеріалу. Одна із тематик присвячена дослідженню динаміки руху машин безвібраційного роликового формування залізобетонних виробів. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях машин роликового формування залізобетонних виробів обґрунтовано їхні конструктивні параметри та продуктивність. Разом з тим недостатньо уваги приділено дослідженню діючим динамічним навантаженням, їхньому характеру зміни в часі та впливу на елементи приводу формувальних візків та на якість готової продукції. В період роботи елементи роликових формувальних установок, а також елементи приводу перебувають під дією динамічних навантажень.

Найбільші динамічні навантаження виникають при досягненні формувальними візками крайніх положень. Такі навантаження є явищем небажаним і відносяться до суттєвих факторів, що приводять до передчасного виходу установки з ладу. Тому постала задача підвищення ефективності машин роликового формування плоских залізобетонних виробів шляхом зниження енергетичних витрат та динамічних навантажень, що діють на елементи приводу формувальних візків.

Для вирішення поставленої задачі запропоновано принцип роботи і конструкцію роликів формувальної установки з рекуперативним приводом, яка дозволяє здійснювати перерозподіл енергії формувальних візків під час безперервних пускогальмівних режимів руху. Розроблено математичну модель динаміки руху установки, яка враховує механічну характеристику приводу та її зв'язок з динамікою руху формувальних візків, що взаємодіють з бетонною сумішшю. Проведено аналіз розв'язку отриманої моделі, який дозволив реально оцінити вплив виду приводу на систему. Встановлено залежність нерівномірності руху від кута зміщення кривошипів приводу формувальних візків роликів формувальної установки з рекуперативним приводом. Обґрунтовано доцільність застосування рекуперативного приводу формувальних візків машин роликів формувальних залізобетонних виробів, як одного із способів зниження енергетичних витрат та динамічних навантажень. Оптимізовано конструктивні параметри ланок приводного механізму роликів формувальної установки. Встановлено за енергетичними та динамічними критеріями закономірності зміни динамічних навантажень в елементах установки, а також проведено їх аналіз. Створено дослідну лабораторну модель роликів формувальної установки з рекуперативним приводом (рис. 1), за допомогою якої проведено експериментальні дослідження.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що при збільшенні продуктивності установки у 2 рази значення потужності, необхідне на процес формування, збільшується лише у 1,21 разів, що приводить до зменшення споживання енергії на 40 % на одиницю виробу.

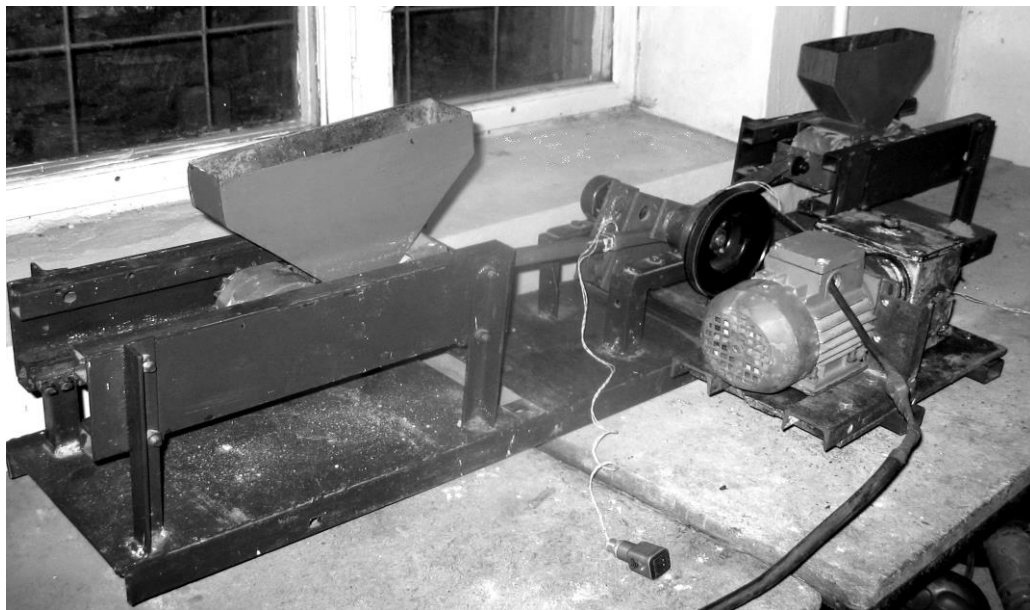


Рисунок 1. Фізична модель роликів формувальної установки з рекуперативним приводом.

Результати досліджень передано до впровадження в товариство з обмеженою відповідальністю “Черкасизалізобетонбуд”, що спеціалізується на виготовленні бетонних та залізобетонних виробів. На основі переданих матеріалів розроблено заходи по створенню роликів формувальної установки з рекуперативним приводом для виробництва плоских залізобетонних виробів.

Методику проведення теоретичних та експериментальних досліджень режимів руху роликів формувальної установки з рекуперативним приводом впроваджено в навчальний процес кафедри основ професійного навчання КНУБА при виконанні лабораторної роботи на тему “Експериментальне визначення нерівномірності руху важільного механізму” з дисципліни “Теорія механізмів і машин”.

Наступною тематикою наукового напрямку “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” є розробка та апробація програмованих методик нормативних (стандартних) розрахунків зубчастих і черв'ячних передач. Актуальність розробки таких



методик полягає в тому, що, по-перше, розрахунок будь-якої зубчастої передачі – це складний і трудомісткий процес, по-друге, без певних фахових знань і практичного досвіду сумнівно спроектувати передачу з оптимальними, або близькими до них параметрами і, по-третє, використання студентами пропонованих неофіційними джерелами суперечливих розрахункових програм не гарантує їхній достатній науковий та дидактичний рівень.

Досвід курсового проектування з дисципліни “Деталі машин” засвідчує, що студенти недостатньо добре орієнтуються у вказаних методиках, бо навіть у спрощеному вигляді вони досить складно викладені у навчальних посібниках провідних шкіл. Ще складніше вони подані в нормативних методиках розрахунку різноманітних зубчастих передач – ГОСТах, ДСТУ. Як правило, у вказаних джерелах наведені розрахункові формули та довідковий матеріал у вигляді таблиць, графіків тощо. Але при виконанні проектів у студентів виникає багато запитань щодо послідовності обчислень, розмірностей фізичних величин, вибору потрібних параметрів і коефіцієнтів, отримуваних результатів обчислень.

З урахуванням вищесказаного на кафедрі основ професійного навчання, за участю студентів, розробляються і апробуються програмовані методики на основі нормативних розрахунків різноманітних зубчастих і черв’ячних зачеплень. Створювані методики враховують рекомендації провідних шкіл у даній галузі, які не суперечать вимогам чинних стандартів, а також містять базу всіх необхідних даних для виконання проектувальних розрахунків.

На відміну від ряду спрощених методик, викладених у деяких навчальних посібниках з курсу “Деталі машин”, запропоновані програмовані методики представлені у вигляді структурних схем та словесного описання алгоритмів розрахунків, які включають необхідний довідковий матеріал та чітко регламентують послідовність повного циклу обчислювальних операцій. Це дозволяє студентам осмислено виконувати розрахунки передач, незважаючи на будь-які відхилення розрахункових параметрів від їхніх номінальних або стандартних значень, оскільки програмовані методики гарантовано здійснюють оптимізацію основних параметрів зачеплення і забезпечують отримання найбільш раціональної конструкції проектованої передачі.

Також програмована методика нормативних розрахунків зубчастих і черв’ячних передач використовується при виконанні студентами дипломних проектів.

Одна із тематик наукового напрямку присвячена оптимізації зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом на транспортному засобі.

Технологічний процес будівельного та інших видів виробництва пов’язаний з транспортуванням значної кількості вантажів та робочого обладнання. Для поліпшення умов праці робітників та підвищення продуктивності при вантажопідйомних і транспортних роботах широкого застосування набули маніпулятори з гідроприводом на транспортних засобах.

В процесі зміни вильоту стрілової системи маніпулятора з вантажем змінюються величини енергетичних характеристик, причому їх максимальні значення, в багатьох випадках, в декілька разів перевищують середні значення. Це призводить до виникнення в шарнірно-зчленованих елементах значних динамічних навантажень, які погіршують роботу маніпулятора, зменшують його міжремонтний цикл і ресурс, збільшують час циклу транспортування вантажу та не дозволяють забезпечити його точне позиціонування, оскільки мають місце коливання металоконструкцій і вантажу.

Для зменшення динамічних навантажень в стріловій системі маніпулятора пропонується виконувати його програмне керування за режимами руху, що синтезовані на основі оптимізаційної задачі. Для цього було розроблено динамічну модель гідроманіпулятора та визначені критерії оптимізації, які представляються у вигляді інтегральних функціоналів з підінтегральними функціями у вигляді енергетичної характеристики гідроманіпулятора, динамічної складової потужності, швидкості зміни динамічної складової потужності та різниці відхилень кінематичних характеристик вантажу

та точки його підвісу. Були отримані розв'язки у вигляді кінематичних характеристик узагальнених привідних координат маніпулятора, які відповідають переміщенням поршнів привідних гідроциліндрів.

Отримані теоретичним шляхом оптимальні режими руху гідроманіпулятора показали істотне підвищення плавності його руху, підвищення продуктивності та зменшення максимальних прискорень і ривків під час пуску та гальмування у порівнянні з реальними режимами руху маніпулятора.

Для підтвердження теоретичних тверджень було розроблено фізичну модель гідроманіпулятора (рис. 2).

Плавну роботу стрілової системи гідроманіпулятора за оптимальними режимами руху реалізовано за рахунок модернізації системи гідроприводу, шляхом встановлення в систему керування розробленого золотникового розподільника з дросельними щілинами на торцях золотників (рис. 3). Завдяки тому, що на золотнику виконані дросельні канавки в момент, коли він під дією керуючого сигналу починає рухатися та відкриває вхідні канали, то спочатку робоча рідина потрапляє у відповідну лінію через ці дросельні канавки, а при повному відкритті – вже напряду потрапляє у відповідну порожнину.

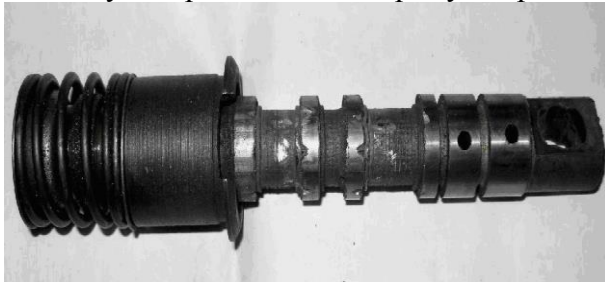


Рисунок 3. Золотник з дросельними канавками.

Наступною тематикою наукового напрямку “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” є оптимізація режиму зміни вильоту шарнірно-зчленованої стрілової системи порталного крана.

Підвищення надійності конструкцій вантажопідіймальних машин, зниження металоемності, покращення експлуатаційних показників, розширення функціональних можливостей, збільшення напрацювання до відмови є важливим напрямком роботи з удосконалення існуючих та проектування нових вантажопідіймальних машин, зокрема кранів.

Суттєвим недоліком шарнірно-зчленованих стрілових систем кранів є нелінійна залежність між кутом повороту стріли та горизонтальною координатою переміщення вантажу. Тобто при рівномірному повороті стріли на деякий кут вантаж рухається нерівномірно, що призводить до виникнення динамічних навантажень і, як наслідок, до розгойдування вантажу на канатному підвісі. Розгойдування вантажу також виникає ще й під час перехідних режимів руху механізму зміни вильоту стрілової системи (пуск, гальмування).

Розгойдування вантажу викликає втомне руйнування елементів металоконструкцій стрілової системи та призводить до збільшення динамічних навантажень на елементи рейкового механізму зміни вильоту, що веде до їх поломок, які в свою чергу є причинами простоювання та дорогих ремонтів всього крана (рис. 4).



Рисунок 2. Зовнішній вигляд фізичної моделі гідроманіпулятора.

Порівнянням “оптимального” режиму руху фізичної моделі гідроманіпулятора з “реальним” показало, що є можливість скорочення робочого часу стрілової системи на 40...49% за один цикл переміщення. Крім цього, досліджені оптимальні режими руху дали можливість на 20...25% знизити динамічні навантаження в системі гідроприводу.

Крім того, розгойдування вантажу стає причиною ускладнення його точного позиціонування, що призводить до важких умов праці стропальників і такелажників, а також змушує кранівника-оператора весь час роботи бути у напруженні. В існуючих теоретичних та експериментальних дослідженнях широко розглядається динаміка горизонтального переміщення вантажу на гнучкому підвісі в кранах прольотного типу або в баштових кранах зі стріловим візком. Досліджено і приведено методи боротьби із коливаннями вантажу, що виникають під час роботи механізмів на перехідних ділянках руху. Однак, дуже мало уваги приділяється дослідженню динаміки горизонтального переміщення вантажу за допомогою шарнірно-зчленованих стрілових систем кранів, а, зокрема, методам усунення коливань вантажу при його горизонтальному переміщенні за допомогою таких стрілових систем. Методи усунення коливань вантажу, що застосовуються в прольотних кранах, не можуть бути використані для кранів із шарнірно-зчленованою стріловою системою тому, що кутова координата ротора електродвигуна пов'язана із горизонтальною координатою переміщення вантажу за допомогою нелінійної залежності.

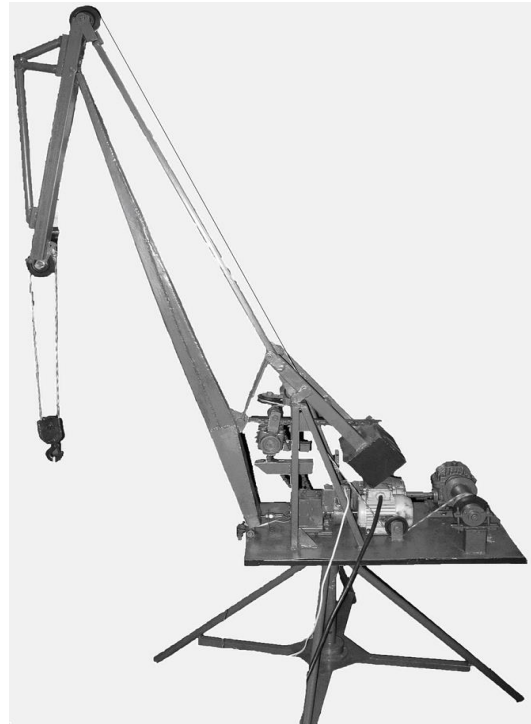


Рисунок 4. Фізична модель порталного крана з шарнірно-зчленованою стріловою системою.

В зв'язку з тим, що крани із шарнірно-зчленованою стріловою системою набувають все більшого поширення в різних галузях народного господарства, то проблема усунення або суттєвого зменшення коливань вантажу при його переміщенні є актуальною. Вирішення цієї задачі дозволяє більш ефективно використовувати крани із такою стріловою системою, покращити умови роботи кранівника-опера-тора та обслуговуючого персоналу, а також, на основі цього, здійснити вдосконалення існуючих та провести розробку нових кранів, що відповідатимуть поставленим вимогам.

Крім описаних результатів для шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крану (рис. 5) розв'язується задача усунення повздовжніх коливань вантажу за рахунок формування оптимальних перехідних режимів механізму зміни вильоту.

Поставлена задача вирішується шляхом визначення оптимальних режимів руху шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крану, при яких усуваються коливання вантажу на гнучкому підвісі та мінімізуються енергетичні та силові навантаження на кран. Це дозволить підвищити продуктивність, надійність і довговічність роботи кранів, а також покращити умови роботи кранівників.

Одна із тематик наукового напрямку присвячена оптимізації режиму зміни вильоту і підйому вантажу баштового крану.

Проаналізувавши дослідження, що проводилися в області динаміки вантажопідіймальних машин, помічено, що розрахунки, в основному, проводилися для ізольованої роботи певного механізму, при цьому коливання вантажу при роботі механізмів баштового крана взагалі детально не розглядалися.

Відомо, що при роботі баштових кранів найпоширенішою є саме спарена робота механізмів.

Тому, спираючись на існуючі дослідження, було запропоновано дослідити спарену роботу механізмів зміни вильоту та підйому вантажу баштового крану.

Проведений аналіз статистичних даних про аварійність вантажопідіймальної техніки в

Україні протягом останніх років свідчить про тенденцію виникнення аварійних ситуацій саме на неусталених (перехідних) режимах роботи механізмів крану.

Головними елементами крану, що лімітують його довговічність, є металоконструкції, які накопичують залишкові деформації та втомні тріщини. Встановлено, що головною причиною їх появи є динамічні навантаження, що виникають в металоконструкціях під час перехідних процесів при роботі кранових механізмів. Вивчення причин виникнення цих навантажень при роботі механізмів підйому та переміщення вантажної каретки та розробка способів їх зменшення приведе не тільки до збільшення терміну експлуатації кранів, а і до більш якісного та безпечного використання їх механізмів.

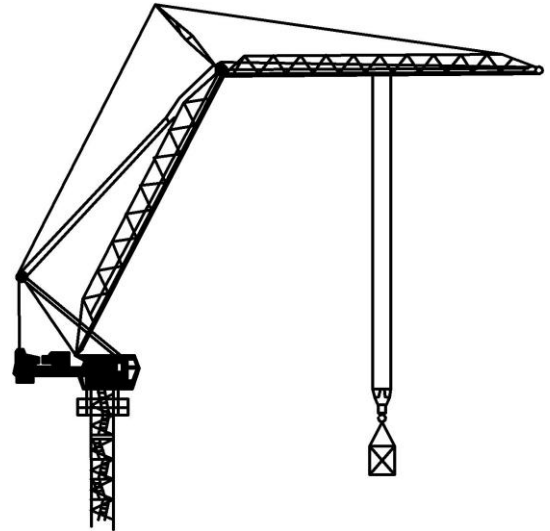


Рисунок 5. Шарнірно-зчленована стрілова система баштового крану.

Під час роботи механізмів підйому та зміни вильоту баштового крана виникають маятникові коливання вантажу, що призводять до значних динамічних навантажень не тільки в металоконструкціях, а і у приводних механізмах крана. Ці навантаження приводять до втомного руйнування конструкції крана і передчасного виходу обладнання з ладу. Коливання вантажу при роботі крана є практично неконтрольованими, що значно ускладнює позиціонування вантажу та створює небезпеку стропальникам.

Для вирішення даної проблеми були вирішені наступні задачі: побудовано динамічну і математичну моделі механізмів підйому і пересування вантажної каретки; вибрано критерій мінімізації динамічних навантажень в механізмах підйому і пересування вантажної каретки крану; побудовано фізичну модель стріли баштового крану (рис. 6) для проведення експериментальних досліджень по визначенню режимів руху; розроблено конструкцію приводів, які реалізують необхідні режими роботи механізмів підйому та пересування вантажної каретки.

Вирішення поставлених задач дає змогу проаналізувати поведінку вантажу та елементів приводних механізмів зміни вильоту та підйому вантажу під час їх роботи, а також зробити конкретні висновки про ефективність запропонованих методів для поліпшення основних критеріїв роботи сучасного баштового крана.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень наукового напрямку “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” використовуються у навчальному процесі університету і на виробництві. Кожного року за даною тематикою виконуються атестаційні магістерські роботи по спеціальності “Підйомно-транс-портні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання” (БМО) та дипломні проекти по спеціальності “Професійне навчання. Виробництво, експлуатація та ремонт підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин і обладнання” (ПН).

За час існування кафедри основ професійного навчання (з 2002 року) за науковим напрямком “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” було виконано і захищено 18 магістерських робіт та виконано і захищено під керівництвом виконавців даного напрямку 89 дипломних проектів.

Студенти беруть участь у всеукраїнських конкурсах студентських наукових робіт, де неодноразово стають переможцями: Д. Паламрчук – 2006 рік, I місце у всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт з напрямку “Будівництво і архітектура”; О.Шевчук – 2010 рік, I місце у всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у галузі знань “Машинознавство”; В. Муляр – 2011 рік, III місце у всеукраїнському конкурсі студентських наукових робіт у галузі знань “Машинознавство”.

За даним науковим напрямом на кафедрі основ професійного навчання захищено 1

кандидатську дисертацію (К.І. Почка, 2008 р.), підготовлено до захисту 2 кандидатські дисертації (Д.О. Міщук, Д.А Паламарчук) та йде робота над кандидатськими дисертаціями (О.Г. Шевчук, Г.В. Шумілов).

Професор В.С. Ловейкін є лауреатом премії Академії будівництва України ім. М.С. Буднікова. За результатами конкурсу “Інтелект молодих – на службу столиці”, що проводився у жовтні 2007 року – лютому 2008 року Головним управлінням освіти і науки виконавчого органу Київради (Київської міської державної адміністрації) спільно з Радою ректорів Київського вузівського центру та Київським міським педагогічним університетом ім. Б.Д. Грінченка, асистент кафедри Почка К.І. зайняв I місце в напрямку “Будівництво і архітектура”.

В цілому виконавцями наукового напрямку “Динаміка і оптимізація режимів руху механізмів і машин” за час існування кафедри видано 1 підручник, 16 навчальних посібників, 11 монографій, опубліковано 387 наукових статей та тез доповідей у фахових наукових журналах та збірниках, отримано 156 патентів України на винаходи та корисні моделі, зроблено 152 доповіді на НПК КНУБА, 36 доповідей на наукових конференціях молодих вчених аспірантів і студентів КНУБА та 123 доповідей на республіканських та міжнародних конференціях.



Рисунок 6. Фізична модель стріли баштового крана.

Література

1. Ловейкін В.С. Оптимізація режимів руху машин і механізмів. // *Машинознавство*. – 1999. – № 7 (25). – С. 24-31.
2. Ловейкин В.С. Определение оптимальных режимов движения механизмов грузоподъемных машин. // *Подъемно-транспортное оборудование*. – 1987. – № 18. – С. 31–35.
3. Ловейкин В.С. Расчеты оптимальных режимов движения механизмов строительных машин: Учеб. пособие. – Киев: УМК ВО, 1990. – 168 с.
4. Ловейкін В.С., Почка К.І. Динамічний аналіз роликової формовочної установки з рекуперативним приводом. // *Вісник Тернопільського державного технічного університету*, 2005. Том 10. – № 1. – С. 69-76.
5. Ловейкін В.С., Почка К.І. Результати експериментальних досліджень режимів руху роликової формуальної установки з рекуперативним приводом. / *Техніка будівництва*, № 20, 2007 р. – С. 16-25.
6. Бажан В.Т., Шевченко Т.В., Мачишин Г.М., Лось С.О. Розробка алгоритму та програми нормативного розрахунку зубчастих циліндричних передач зовнішнього зачеплення. // *Збірник «Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини»*. – К.: КНУБА, 2007. – Вип. 69. – С. 82-87.
7. Ловейкін В.С., Паламарчук Д.А. Мінімізація коливань вантажу при горизонтальному переміщенні шарнірно-зчленованою стріловою системою крана. // *Техніка будівництва*. – № 24, 2010 р. – С. 9-17.
8. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Шумілов Г.В. Вплив довжини каната механізму переміщення візка на динаміку одночасної зміни вильоту та підйому вантажу баштового крана. // *Науково-технічний і виробничий журнал «Підйомно-транспортна техніка»*. – 2011. – № 1. – С. 3-13.
9. Ловейкін В.С., Шевчук О.Г. Оптимізація динамічного режиму пуску шарнірно-зчленованої стрілової системи баштового крана. // *Техніка будівництва*, № 23, 2009 р. – С. 24-29.
10. Ловейкін В.С., Міщук Д.О. Оптимізація режиму руху стрілової системи крана-маніпулятора в процесі зміни вильоту вантажу під час роботи за двох узагальнених координат. // *Техніка будівництва*, № 23, 2009 р. – С. 17-23.