

УДК 621.873

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПОЛОЖЕНЬ КОНЦЕПЦІЇ ДИНАМІЧНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ РУХУ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ ТА ТРАНСПОРТУЮЧИХ МАШИН**

©Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О.

*Національний університет біоресурсів і природокористування України***Інформація про авторів:**

**Ловейкін Вячеслав Сергійович:** ORCID: 0000-0003-4259-3900; vloveykin@mail.ru; доктор технічних наук; завідувач кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

**Ромасевич Юрій Олександрович:** ORCID: 0000-0001-5069-5929; d.um@mail.ru; доктор технічних наук; доцент кафедри конструювання машин; Національний університет біоресурсів і природокористування України; навчальний корпус №11, вул. Героїв Оборони, 12, м. Київ, 03041, Україна.

Розглянуто основні положення концепції підвищення ефективності використання транспортуючих та вантажопідйомних машин за рахунок оптимізації режимів їх руху.

Побудовано алгоритм проведення досліджень, який передбачає виконання аналізу та синтезу режимів руху машини при проведенні теоретичних розрахунків та експериментальної перевірки результатів. На основі алгоритму виконується весь цикл досліджень: від надходження вихідної інформації про роботу машини до отримання науково-обґрунтованого результату у вигляді збільшення одного чи декількох показників ефективності роботи машини.

Описано окремі етапи робіт у концепції динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідйомних машин та встановлено логічний зв'язок між ними.

Розроблена концепція може бути використана для планування науково-дослідних робіт по підвищенню ефективності роботи вантажопідйомних та транспортуючих машин за рахунок оптимізації режимів руху їх механізмів.

**Ключові слова:** машина; динаміка; концепція; алгоритм; оптимізація.

*Ловейкин В.С., Ромасевич Ю.А.* «Обоснование положений концепции динамической оптимизации режимов движения грузоподъемных и транспортирующих машин».

Рассмотрены основные положения концепции повышения эффективности использования транспортирующих и грузоподъемных машин за счет оптимизации режимов их движения.

Построен алгоритм проведения исследований, который предусматривает выполнение анализа и синтеза режимов движения машины при проведении теоретических расчетов и экспериментальной проверки результатов. На основе алгоритма выполняется весь цикл исследований от поступления исходной информации о работе машины до получения научно обоснованного результата в виде увеличения одного или нескольких показателей эффективности работы машины.

Описаны отдельные этапы работ в концепции динамической оптимизации режимов движения транспортирующих и грузоподъемных машин и установлена логическая связь между ними.

Разработанная концепция может быть использована для планирования научно-исследовательских работ по повышению эффективности работы грузоподъемных и транспортирующих машин за счет оптимизации режимов движения их механизмов.

**Ключевые слова:** машина; динамика; концепция; алгоритм; оптимизация.

*Loveikin V., Romasevych Y.* “The concept points substantiation of lifting and conveying machines dynamic driving modes optimization”.

The basic points of concepts of effectiveness increasing of the using lifting machines by mean of movement regimes optimization have been considered.

An algorithm of researching has been build, which provides for perform analysis and synthesis of machines movement regimes during theoretical calculations and experiments. The cycle of researching, which based on the algorithm, should be execute: from acquisition an information to obtaining scientific results (for example, when one or several indicators of the efficiency have been increased).

The individual stages of work in the movement dynamic optimization concept of conveying and hoisting machines were described. A logical link between them has been stated, as well.

The concept can be used for the planning of scientific research to improve the efficiency of the lifting and conveying machines by optimizing the movement modes of their mechanisms.

**Key words:** machine; dynamic; concept; algorithm; optimization.

### **1. Постановка проблеми**

Вантажопідйомні та транспортуючі машини знайшли широке використання у різних галузях народного господарства. Для підвищення ефективності їх експлуатації необхідно вивчати процеси, які мають місце в їх механізмах. Для цього широко використовуються теоретичні та експериментальні методи досліджень. Застосування того чи іншого методу доцільно виконувати на певному етапі досліджень.

Перед тим як почати вивчення процесів у вантажопідйомних та транспортуючих машинах дослідник повинен мати повне уявлення про алгоритм проведення досліджень. Даний алгоритм виступає своєрідною „дорожньою картою”, яка показує як із заданого вихідного стану (інформації про роботу досліджуваної машини) досягнути бажаного кінцевого стану, який полягає у підвищенні одного або декількох показників ефективності експлуатації машини (наприклад, продуктивності, довговічності, енергоефективності тощо) за рахунок оптимізації параметрів та режимів роботи механізмів машини. Назвемо цей алгоритм досліджень „концепцією динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідйомних машин”. Його розробка є актуальною задачею, оскільки дає необхідну інформацію, про те з чого почати дослідження або, у випадку коли вже отримані певні наукові результати, дає змогу ідентифікувати той чи інший етап досліджень.

### **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Існує величезна кількість наукових публікацій, які присвячені питанням динамічного аналізу [1-6] та синтезу (структурного [5-7], параметричного [6-11], режимного [12-16]) вантажопідйомних та транспортуючих машин. Ці дослідження характеризуються різними підходами. Всі вони представляються деякими етапами у дослідженні процесів в механізмах вантажопідйомних та транспортуючих машин.

Дисертаційні дослідження [5-13, 16] мають логічну завершеність, вони побудовані схемою, що відповідає умові досягнення конкретного результату – підвищення ефективності роботи вантажопідйомних та транспортуючих машин. Для робіт [12-16], в яких цей результат досягнутий за рахунок оптимізації режимів руху механізмів вантажопідйомних та транспортуючих машин, існує необхідність у алгоритмізації цих досліджень, тобто побудови загальної концепції, за якою вони проведені.

### **3. Постановка мети та завдань дослідження**

Метою роботи є обґрунтування основних положень концепції динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідіймних машин. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: 1) розробити алгоритм проведення досліджень, метою яких є підвищення ефективності роботи вантажопідіймної або транспортуючої машини за рахунок оптимізації режимів руху їх механізмів; 2) вказати сутність кожного етапу у розробленому алгоритмі та встановити між ними логічні зв'язки.

### **4. Виклад основного матеріалу**

Аналіз досліджень з динаміки руху транспортуючих та вантажопідіймних машин показує, що ефективним методом підвищення довговічності їх роботи, а також покращення енергетичних характеристик є оптимізація режимів руху, яка виконується на базі теоретичних моделей.

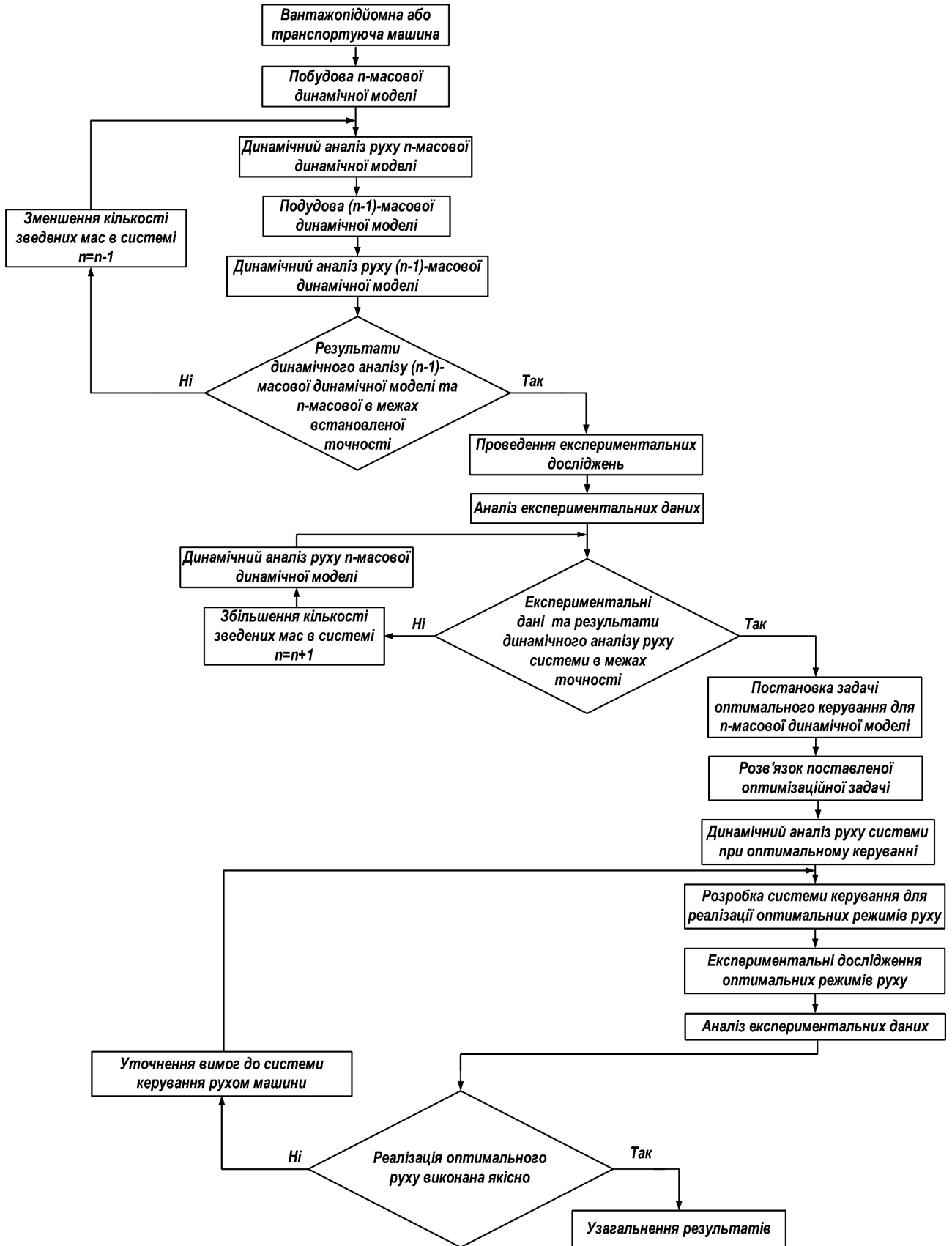
Однак, теоретичних розрахунків недостатньо для досягнення практичного ефекту. Обов'язковою умовою тут є експериментальна перевірка результатів.

Для підвищення ефективності роботи транспортуючих та вантажопідіймних машин дослідження необхідно проводити за загальною концепцією динамічної оптимізації режимів їх руху, в якій застосовані як теоретичні так і експериментальні методи. Алгоритм досліджень, згідно з основними положеннями концепції, зображено на рис. 1.

Згідно основних положень концепції динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідіймних машин на початку досліджень будують динамічну модель руху системи з  $n$  дискретними (зосередженими масами). Побудова динамічної моделі ґрунтується на кінематичній схемі механізму. При цьому враховують особливості роботи транспортуючої або вантажопідіймної машини. У якості зосереджених мас приймають, як правило, маси (моменти інерції) масивних елементів (зубчастих коліс, півмуфт, гальмівного шківів, ротора двигуна, шківів, зірочок зубчастих передач, ковшів з вантажем, що транспортується тощо). Зосереджені маси з'єднуються між собою пружно-в'язкими зв'язками. Параметри динамічної моделі, як правило можна розрахувати (наприклад, можна розрахувати момент інерції гальмівного шківів, або крутильну жорсткість пружної муфти); деякі параметри наводяться у довідниках (наприклад, момент інерції приводу – це каталожна величина); інші параметри можна оцінити виходячи з відомих рекомендацій [17].

Після того, як динамічна модель отримана виконується математичне моделювання, тобто у відповідність динамічній системі ставиться система диференціальних рівнянь, як правило, нелінійних, що описують її рух. Для цього використовуються відомі методи отримання рівнянь руху системи на основі її динамічної моделі [17].

Наступний етап – проведення динамічного аналізу. На цьому етапі виконується розв'язування систем диференціальних рівнянь, як правило, чисельними методами. У результаті отримують графічні залежності, які показують зміну узагальнених координат системи та їх вищих похідних за часом. На основі цих залежностей можна визначити динамічні навантаження у елементах транспортуючої або вантажопідіймної машини.

**Динаміка та міцність машин**

**Рис 1** – Алгоритм узагальненої концепції динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідійомних машин

Після проведення цих досліджень аналогічні дослідження проводять для динамічної системи, яка містить на одну зведену масу менше, тобто загальна кількість зведених мас рівна  $n-1$ . Зменшення кількості зведених мас полягає у тому, що нехтують інерційними характеристиками однієї (найбільш незначимої з точки зору дослідника) маси. Надалі проводять порівняння кінематичних та динамічних характеристик  $n$ -масової та  $(n-1)$ -масової динамічних систем. У випадку незначних відхилень результатів, які отримані для обох моделей, виконують зменшення кількості зведених мас в системі та проводять повторні розрахунки. Якщо ж результати відрізняються значно, то подальше спрощення моделі шляхом зменшення кількості зведених мас в ній є неприпустимим. Отже, отримана модель попередньо приймається для подальшого розрахунку.

Після того, як поведені теоретичні розрахунки переходять до виконання експериментальних досліджень. Метою проведення експериментів є встановлення адекватності прийнятої попередньо математичної моделі руху машини. При проведенні експериментальних даних необхідно визначити ті характеристики машини, які отримані при виконанні динамічного аналізу (наприклад, кутова швидкість електроприводу, крутний момент на валу приводного барабана, прискорення робочих органів машини тощо). Аналіз результатів експериментальних досліджень полягає у їх порівнянні з теоретичними розрахунками. У випадку коли відхилення експериментальних та теоретичних даних мають значні відхилення, це вказує на те, що в попередньо прийнятій математичній моделі не враховані певні фактори, які мають значний вплив на динаміку руху машини. Отже, необхідно їх виявити, проаналізувавши експериментальні дані. У деяких випадках необхідно проводити додаткові експериментальні дослідження.

Якщо ж результати теоретичних досліджень корелюють з експериментальними даними то це означає, що знайдено адекватну математичну модель динаміки руху вантажопідійомної або транспортуючої машини.

Наступний етап – проведення оптимізації режимів руху машини, яка починається з постановки задачі. На цьому етапі необхідно враховувати обмеження, які накладаються на технічні засоби, що будуть у подальшому використані для реалізації оптимальних режимів руху систем на практиці. Необхідно також зазначити, що, як правило, оптимізаційний критерій або/і математична модель руху системи є нелінійною. Це означає, що знайти точний розв'язок оптимізаційної задачі вдається не в усіх випадках. Тому тут важливе значення мають наближені (прямі) методи розв'язування оптимізаційних задач [18].

Після розв'язку задачі оптимального керування проводять динамічний аналіз руху досліджуваної системи, який дає змогу оцінити ефективність застосування оптимальних законів руху. Це виконується шляхом зміни певних параметрів моделі (наприклад, частоти на амплітуди напруги живлення електричного двигуна). Отримана при аналізі інформація використовується для розробки структури та алгоритмів функціонування системи керування рухом транспортуючої або вантажопідійомної машини. Надалі виконується практична реалізація цієї системи (розробка програмного забезпечення та її апаратної частини).

## Динаміка та міцність машин

---

Після того, як система, що реалізує оптимальне керування, буде готова виконують її експериментальні випробування. При цьому тестують роботу машини при різних оптимальних режимах і при варіації робочих параметрів (типу вантажу, який переміщується, його та маса тощо). Аналіз отриманої експериментальної інформації дає змогу оцінити якість реалізації оптимальних законів руху системи. Якщо ж якість недостатня (наприклад, відхилення швидкості руху робочого органу машини значно відрізняється від програмно-заданого, тобто оптимального) то виконують уточнення до вимог системи керування, які, як правило, полягають у: введенні в систему додаткових зворотних зв'язків; збільшення крутного моменту для подолання сил сухого тертя; збільшенні або зменшенні тривалості перехідних процесів тощо. Зазначимо, що цей етап є надзвичайно важливим, оскільки якісна (у практичному плані) реалізація оптимальних законів руху системи дозволяє значно підвищити ефективність роботи машини за рахунок зменшення динамічних навантажень, мінімізації енергетичних витрат, підвищення продуктивності її роботи, покращення умов роботи технічного персоналу тощо. Якщо система керування якісно реалізує оптимальне керування виконують узагальнення отриманих результатів та вказують практичні рекомендації для реалізації оптимального керування рухом транспортуючих та вантажопідійомних машин на практиці.

### Висновки

Таким чином, у статті обґрунтовано основні положення концепції динамічної оптимізації режимів руху транспортуючих та вантажопідійомних машин. Використання даної концепції дозволяє ефективно проводити дослідження вантажопідійомних та транспортуючих машин та побудувати систему керування, яка реалізує оптимальні режими руху механізмів на практиці.

### Список використаних джерел:

1. Лагеров И. А. Влияние подкрановой конструкции на динамическую нагруженность мостового крана / И. А. Лагеров // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2011. – Вып. 3. – Часть 3. – С. 3-10.
2. Сладковский А. Динамика мостового крана. Ч. 1. Определение характеристик мостового крана / А. Сладковский, Т. Ханишевский, Т. Матя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 10. – Ч. 1. – С. 150-155.
3. Сладковский А. Динамика мостового крана. Ч. 2. Моделирование процесса подъема груза с постоянной скоростью / А. Сладковский, Т. Ханишевский, Т. Матя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 10. – Ч. 2. – С. 168-177.
4. Мамаев Л. М. Математическое моделирование динамического гашения вибраций грузоподъемных машин / Л. М. Мамаев, А. М. Кабаков, А. И. Пабат // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. – 2011. – Вип. 120. – Серія: Механіка, енергетика, екологія. – С. 272-275.
5. Шевченко С. І. Поліпшення динамічних характеристик мостових кранів застосуванням гальмових пристроїв із само підсиленням : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / С. І. Шевченко. – Х., 2010. – 15 с.
6. Стрельцов С. В. Обоснование структуры и силовых параметров дифференциальной системы торможения крана пролетного типа на рельсовом ходу : дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.04. / Сергей Владимирович Стрельцов. – Новочеркасск, 2014. – 167 с.
7. Фідровська Н. М. Нові концепції розрахунків канатних барабанів : автореф. дис. ... докт. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / Н. М. Фідровська. – Одеса, 2012. – 32 с.
8. Рогатинський Р. М. Механіко-технологічні основи взаємодії шнекових робочих органів з сировиною сільськогосподарського виробництва : дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01; 05.05.05 / Роман Михайлович Рогатинський. – Тернопіль, 1997. – 574 с.
9. Ісьєміні І. І. Підвищення ефективності захисних систем кранів мостового типу застосування пневмогідролічних буферів : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / І. І. Ісьєміні. – Х., 2014. – 20 с.

10. Дорохов М. Ю. Динамічне гасіння коливань мостових кранів із використанням хвильових ланцюгових передач : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / М. Ю. Дорохов. – Х., 2007. – 18 с.
11. Подоляк О. С. Підвищення техніко-експлуатаційних показників стрілових самохідних кранів застосуванням гідравлічних гасителів коливань : автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / О. С. Подоляк. – Х., 2010. – 27 с.
12. Міщук Д. О. Оптимізація зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом на транспортному засобі : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / Дмитро Олександрович Міщук. – К., 2013. – 192 с.
13. Паламарчук Д. А. Оптимізація режимів руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана з горизонтальним переміщенням вантажу : дис. ... канд. техн. наук: 05.05.05 / Дмитро Анатолійович Паламарчук. – К., 2013. – 240 с.
14. Герасимьяк Р. П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимьяк, В. А. Лещёв. – Одесса : СМІЛ, 2008. – 192 с.
15. Будиков Л. Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа / Л. Я. Будиков. – Луганск : Изд-во ВУГУ, 1997. – 210 с.
16. Ромасевич Ю. О. Динамічна оптимізація режимів руху механізмів вантажопідійомних машин як мехатронних системи : дис. ... докт. техн. наук 05.05.05 / Юрій Олександрович Ромасевич. – Одеса, 2015. – 519 с.
17. Ловейкін В. С. Динаміка машин / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич. – К. : КОМПРИНТ, 2013. – 227 с.
18. Ловейкін В. С. Аналіз прямих варіаційних методів розв'язку задач оптимального керування / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, Ю. В. Ловейкін // Вісник Національного університету „Львівська політехніка”: Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – 2012. – № 729. – С. 70-79.

### References

1. Lagerev, I 2011, 'Vliyanie podkranovoy konstruksii na dinamicheskuyu nagruzhennost mostovogo kрана', *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*, iss. 3, part 3, pp. 3-10.
2. Sladkovskiy, A, Khanishevskiy, T & Matyya, T 2010, 'Dinamika mostovogo kрана. Chast 1. Opredeleniye kharakteristik mostovogo kрана', *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, no. 10, part 1, pp. 150-155.
3. Sladkovskiy, A, Khanishevskiy, T & Matyya, T 2010, 'Dinamika mostovogo kрана. Chast 2. Modelirovaniye protsessa podyema gruzа s postoyannoy skorostyu', *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia*, no. 10, part 2, pp. 168-177.
4. Mamaev, L., Kabakov, A & Pabat, A 2011, 'Mathematical modeling of the dynamic vibration damping for lifting machines', *Visnyk SevNTU*, iss. 120, Seriya: Mekhanika, energetika, ekologiya, pp. 272-275.
5. Shevchenko, S 2010, 'Polipshennia dynamichnykh kharakterystyk mostovykh kранiv zastosuvanniam halmovykh prystroiv iz samopidsylenniam', *Kand.tekh.n. abstract, Ukrain'ska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv*.
6. Streltsov, S 2014, 'Obosnovaniye struktury i silovykh parametrov differentsialnoy sistemy tormozheniya kрана proletnogo tipа na rel'sovom khodu', *Doct.tekh.n. thesis, Yuzhno-Rossiyskiy gosudarstvennyy politekhnicheskiiy universitet (NPI) imeni M.I. Platova, Novocheerkassk*.
7. Fidrov'ska, N 2012, 'Novi kontseptsii rozrakhunkiv kanatnykh barabaniv', *Doct.tekh.n. abstract, Odeskiy natsionalnyi politekhnichnyi universytet, Odesa*.
8. Rohatynskiy, R 1997, 'Mekhaniko-tekhnologichni osnovy vzaemodii shnekovykh robochykh orhaniv z syrovynoiu silskohospodarskoho vyrobnytstva', *Doct.tekh.n. thesis, Ternopil'skiy derzhavnyi tekhnichnyi universytet imeni Ivana Puliuia, Ternopil*.
9. Isyemini, I 2014 'Pidvyshchennia efektyvnosti zakhysnykh system kранiv mostovoho tipу zastosuvannia pnevmohidravlichnykh buferiv', *Kand.tekh.n. abstract, Ukrain'ska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv*.
10. Dorokhov, M 2007, 'Dynamichne hasinnia kolyvan mostovykh kранiv iz vykorystanniam khvylovykh lantsiuhovykh peredach', *Kand.tekh.n. abstract, Donbaska derzhavna mashynobudivna akademiia, Kramatorsk*.
11. Podoliak, O 2010, 'Pidvyshchennia tekhniko-ekspluatatsiinykh pokaznykiv strilovykh samokhidnykh kранiv zastosuvanniam hidravlichnykh hasyteliv kolyvan', *Kand.tekh.n. abstract, Ukrain'ska inzhenerno-pedahohichna akademiia, Kharkiv*.
12. Mishchuk, D 2013, 'Optymizatsiia zminy vylotu manipuliatora z hidropryvodom na transportnomu zasobi', *Kand.tekh.n. thesis, Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, Kiev*.
13. Palamarchuk, D 2013, 'Optymizatsiia rezhymiv rukhu sharnirno-zchlenovanoi strilovoi systemy kрана z horyzontalnym peremishchenniam vantazhu', *Kand.tekh.n. thesis, Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury, Kiev*.
14. Gerasimyak, R & Leshchev, V 2008, *Analiz i sintez kранovykh elektromekhanicheskikh sistem*, SMISL, Odessa.
15. Budikov, L 1997, *Mnogoparametricheskiiy analiz dinamiki gruzopodyemnykh kранov mostovogo tipа*, VUGU, Lugansk.
16. Romasevych, Iu 2015, 'Dynamichna optymizatsiia rezhymiv rukhu mekhanizmiv vantazhopididomnykh mashyn yak mekhatronnykh systemy', *Doct.tekh.n. thesis, Odeskiy natsionalnyi politekhnichnyi universytet, Odesa*.
17. Loveikin, V & Romasevych, Iu 2013, *Dynamika mashyn*, TsP "KOMPRYNT", Kiev.
18. Loveikin, V, Romasevych, Iu & Loveikin, Iu 2012, 'Analiz priamykh variatsiinykh metodiv rozv'iazku zadach optymalnoho keruvannia', *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lviv'ska politekhnika". Optymizatsiia vyrobnychkykh protsesiv i tekhnichnyi kontrol u mashynobuduvanni ta prykladobuduvanni*, no. 729, pp. 70-79.

Стаття надійшла до редакції 29 лютого 2016 р.