Ministry of Education and Science of Ukraine
Chernihiv National University of Technology (Ukraine)
Ptukha Institute for Demography and Social Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine
Scientific-Research Centre of Industrial Development Problems of the National Academy of Science of Ukraine
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Ukraine)
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
NGO «Chernihiv European» (Ukraine)
Academic Society of Michal Baludansky (Slovak Republic)
Technical University of Kosice (Slovak Republic)
University of Central Europe (Slovak Republic)
Alexander Dubček University of Trenčín (Slovak Republic)
Matej Bel University in Banská Bystrica (Slovak Republic)
University of Gdańsk (Poland)
Tsenov Academy of Economics (Bulgaria)
Fil. Dr. Jan-U. Sandal Institute (Norway)
Sokhumi State University (Georgia)
Batumi Shota Rustaveli State University (Georgia)
Batumi Navigation Teaching University (Georgia)
European University (Georgia)
Baku Slavic University (Azerbaijan)

UKRAINE – EU. INNOVATIONS IN EDUCATION, TECHNOLOGY, BUSINESS AND LAW

APRIL 24–28, 2018
SLOVAK REPUBLIC-CZECH REPUBLIC

COLLECTION OF INTERNATIONAL SCIENTIFIC PAPERS

ENGINEERING AND TECHNOLOGY

ENVIRONMENTAL PROTECTION

INNOVATIONS IN EDUCATION. ISSUES IN THE REFORMATION OF THE HIGHER EDUCATION SYSTEM IN THE ASPECT OF EUROINTEGRATION

Михайло Кайдаш

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ МАШИННОГО АГРЕГАТУ З НЕЛІНІЙНОЮ МЕХАНІЧНОЮ ХАРАКТЕРИСТИКОЮ РОБОЧОЇ МАШИНИ

Mykhailo Kaidash

DYNAMIC RESEARCH OF MACHINE ENGINE WITH NONLINEAR MECHANICAL CHARACTERISTIC OF THE OPERATING MACHINE

Досліджено процес розбігу машинного агрегату з нелінійною механічною характеристикою робочої машини. Встановлено функціональні залежності для визначення зміни кутової швидкості ротора двигуна та моменту в передавальному механізмі. Задачу розв`язано в аналітичному вигляді без застосування методів лінеаризації. Отримані результати мають певну практичну спрямованість, оскільки дозволяють встановлювати відповідність характеру руху вимогам технологічного процесу, а також визначати параметри виконавчого механізму в процесі його динамічного проектування.

Ключові слова: *машинний агрегат; процес розбігу; нелінійна характеристика; кутова швидкість; момент в передавальному механізмі.*

The process of runoff of a machine aggregate with a nonlinear mechanical characteristic of an operating machine is investigated. Functional dependencies are established for determining the change of angular speed of the engine rotor and moment in the transfer mechanism. The problem is solved in an analytical form without application of linearization methods. The obtained results have a certain practical orientation, since they allow to establish conformity of the motion nature with the requirements of the technological process and to determine the parameters of the operating mechanism in the process of its dynamic design either.

Keywords: *machine aggregate; run-off process; nonlinear characteristic; angular velocity; moment in the transmission mechanism.*

Одним із завдань дослідження динаміки машинного агрегату є визначення й аналіз законів руху та динамічних навантажень, що відповідають найбільш характерним режимам роботи, як усталений рух та перехідні процеси.

Найчастіше для визначення закону руху використовують наближені лінійні механічні характеристики. В цьому випадку розв`язок диференціальних рівнянь руху можна отримати в аналітичній формі. Задача дещо ускладнюється, якщо хоча б одна з механічних характеристик (рушійних сил або сил опору) є нелінійною і в більшій мірі – коли нелінійними є обидві механічні характеристики.

Вивченню динаміки машинних агрегатів присвячено досить велику кількість досліджень. До основоположних з них можна віднести роботи [1] – [3], де розглянуто різні аспекти динаміки машин з електроприводом та двигунами внутрішнього згоряння, а також запропоновано аналітичні методи динамічних розрахунків приводів машинних агрегатів.

Широке коло питань стосовно визначення законів руху для усталеного режиму машинного агрегату та перехідних процесів – розбігу і гальмування розглянуто в роботі [4]. Разом із загальними методами динамічного аналізу і синтезу тут викладено методику вибору динамічних моделей окремих частин машин, показано способи визначення динамічних навантажень в передавальних механізмах.

З метою спрощення обчислювальних процедур нелінійні характеристики робочої машини, як правило, замінюють їх лінеаризованими наближеннями [5], [6], що в певній мірі ускладнює практичне застосування отриманих результатів.

В даній роботі досліджено процес розбігу машинного агрегату, що складається з двигуна, передавального механізму та робочої машини, що має нелінійну характеристику у вигляді квадратичної функції. Розв’язок задачі отримано в аналітичному вигляді без традиційного застосування методів лінеаризації.

При аналізі динаміки машинного агрегату прийнято припущення:

- передаточне відношення та коефіцієнт корисної дії передавального механізму є незмінними;

- під час розбігу середня кутова швидкість ротора електродвигуна за кожен його повний оберт змінюється незначно;

- на вхід двигуна подається постійний управляючий параметр, тобто розбіг є некерованим;

- для дослідження процесу розбігу використовується статична характеристика двигуна;

- зведений до валу двигуна момент сил опору залежить тільки від швидкості і несуттєво змінюється відносно середнього за повний оберт ротора значення;

- в процесі розбігу кутова швидкість ротора двигуна змінюється від нуля до значення, що є середнім для усталеного руху.

З урахуванням вищезазначеного, для розв'язання задачі використано рівняння [1]:

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = M_Д(\omega) + M_{ОП}(\omega), \qquad (1)$$

де t – час;

ω – кутова швидкість ротора двигуна;

J – зведений до валу ротора двигуна момент інерції всього машинного агрегату;

$M_Д(\omega)$ – момент на валу ротора двигуна; $M_{оп}(\omega)$ – зведений до валу ротора момент сил опору.

Закон руху $\omega(t)$ визначався для режиму розбігу машинного агрегату з двигуном, що має лінійну статичну характеристику $M_Д(\omega)$, та робочою машиною з нелінійною характеристикою $M_{оп}(\omega)$ у вигляді квадратичної функції:

$$M_Д(\omega) = B_Д(\omega - \omega_0) + M_0, \qquad (2)$$

$$M_{ОП}(\omega) = A_M(\omega^2 - \omega_0^2) + B_M(\omega - \omega_0) - M_0, \qquad (3)$$

де $B_Д$, $A_М$, $B_М$ – параметри характеристик двигуна і робочої машини відповідно;
$B_Д \neq 0$, $A_M \neq 0$;

ω_0, M_0 – швидкість і момент двигуна в режимі усталеного руху, для якого $M_0 = M_Д(\omega_0) = -M_{ОП}(\omega_0)$; $M_0 \rangle 0$.

В результаті інтегрування (1) для вибраних (2) і (3) з урахуванням початкової умови: t = 0, ω = 0, отримано:

$$t(\omega) = \frac{J}{2A\omega_0 + B} \cdot \ln\left|\frac{A(\omega - \omega_0)(A\omega_0 + B)}{(A(\omega + \omega_0) + B)A\omega_0}\right|, \qquad (4)$$

де $A = A_M$; $B = B_Д + B_M$.

Залежність $\omega(t)$, визначено, як функцію, що є взаємно оберненою до (4):

$$\omega(t) = \frac{1}{A} \cdot \left[\frac{2A\omega_0 + B}{Cz + 1} - A\omega_0 - B\right], \qquad (5)$$

де $z = \exp[t \cdot (2A\omega_0 + B)/J]$, $C = A\omega_0/(A\omega_0 + B)$.

Аналіз формули (5) показує, що асимптотичне наближення кутової швидкості ω до величини ω_0 відбувається при $2A\omega_0 + B < 0$, що відповідає умові стійкої роботи привода [4]: $\partial M_Д / \partial\omega + \partial M_{ОП} / \partial\omega < 0$.

Визначення функції $\omega(t)$ дає можливість відшукати момент $M_П$, що виникає в передавальному механізмі під час розбігу. Відповідно до прийнятої схеми машинного агрегату умову рівноваги вала ротора двигуна з моментом інерції I_D представлено рівнянням:

$$J_Д \frac{d\omega}{dt} = M_Д(\omega) - M_П(\omega). \qquad (6)$$

Розв'язок рівняння (6), з урахуванням співвідношень (2) і (5), отримано у вигляді:

$$M_П(\omega) = M_0 + \frac{1}{A} \cdot C\alpha \cdot \frac{\eta\alpha - B_Д[C\exp(t\alpha/J) + 1]}{[C\exp(t\alpha/J) + 1]^2} \cdot \exp(t\alpha/J), \qquad (7)$$

де $\alpha = 2A\omega_0 + B$; $\eta = J_D / J$.

В межах прийнятих допущень формула (7) враховує практично всі основні параметри процесу розбігу машинного агрегату. В залежності від співвідношення між величинами $\eta\alpha$ і $B_Д(C\exp(t\alpha/J)+1)$ момент $M_Д$ може змінюватися в часі, як в бік збільшення, так і зменшення, відносно величини M_0. Виконання умови $\eta\alpha = B_Д(C\exp(t\alpha/J)+1)$ призводить до окремого випадку, коли $M_Д(\omega) = M_0$.

При заданих механічних характеристиках двигуна і робочої машини головним фактором для регулювання величини $M_Д$ є безрозмірний параметр η, що змінюється в межах $0 < \eta < 1$.

Отримані результати аналітичного дослідження можуть бути використані для визначення оптимальних параметрів машинних агрегатів з нелінійною характеристикою виконавчого механізму на стадії їх динамічного проектування.

Список використаних джерел

1. Зиновьев В.А. Основы динамики машинных агрегатов / В.А. Зиновьев, А.П. Бессонов. – М.: Машиностроение, 1964. – 240 с.
2. Вейц В.Л. Динамика машинных агрегатов / В.Л. Вейц. – Л.: Машиностроение, 1969.– 368 с.
3. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / С.Н. Кожевников. – Киев: Наукова думка, 1986. – 288 с.
4. Коловский М.З. Динамика машин / М.З. Коловский – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-е, 1989. – 263 с.
5. Степанов А.Г. Динамика машин / А.Г. Степанов. – Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 304 с.
6. Бъчваров С.Н. Динамика машинного агрегата с упругим валом и линейной характеристикой исполнительного механизма / С.Н. Бъчваров, В.Д. Златанов, С.Г. Делчева-7. Атанасова, И.Г. Янчев // Теория механизмов и машин. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – 2004. – Т.2, № 3. – С. 62–74.

Кайдаш Михайло Дмитрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет.
Kaidash Mykhailo – PhD in Technical Sciences, Assosiate Professor of the Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology.
E-mail: 0203kmdcn@gmail.com

Volodymyr Kalchenko, Andrii Yeroshenko, Sergiy Boyko

MATHEMATICAL MODELING OF ABRASIVE GRINDING

Mathematical modeling of the finite element method of working processes of abrasive grinding of structural steel on steel 45. In the example electro-corundum wheel with ceramic binder used as an abrasive tool. Contact problem of tool interaction of grain and the workpiece has been solved. The problem of modeling the cutting process in a chip formation and, consequently, the formation of new surfaces has been solved. Distribution of plastic strain, temperature, shear, strain, strain rate, internal pressure, cutting forces charts and kinetic energy was defined.

Keywords: mathematical modeling; finite element method; abrasive grinding; structural steel; abrasives; corundum; ceramic bond.

To optimization of products and production processes in recent years in the industry paid much attention. Therefore, considerable progress has been the technology of virtual modeling that allow in the short term and cost to perform optimization using a full-scale experiment as verified. Thanks to this already at the design stage technology can get detail with the optimal size, properties and cost. And only small clarifying remain in the implementation phase of the process.

In the present paper described the methodology of implementing virtual grinding treatment using numerical methods, including finite element method. The need for numerical methods is due to the impossibility of the analytical solution of differential equations of plasticity theory in partial derivatives in general form for any geometrically complex areas.

According to sources [1, 2, 4] currently known several methods of numerical modeling of deformation processes and thermal conductivity, finite difference method (FDM), finite element