

УДК 681.5

## ДОСЛІДЖЕННЯ АПАРАТІВ МЕХАТРОНІКИ

Литвинов О.І.<sup>1</sup>, Лукач В.С.<sup>2</sup>, Федорина Т.П.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> доцент, кандидат технічних наук;

<sup>2</sup> доцент, кандидат педагогічних наук;

<sup>3</sup> доцент, кандидат педагогічних наук

ВП НУБіП України «Ніжинський агротехнічний інститут»

**Анотація.** *Проведено дослідження мехатроніки, як галузі науки і техніки, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки й мікропроцесорної техніки, інформатики та комп'ютерного керування рухом машин і агрегатів, наведено приклади розв'язання задач.*

**Ключові слова:** *мехатроніка, механіка, електроніка, електротехніка, комп'ютерна техніка, синергетика.*

**Постановка проблеми.** Мехатроніка є галуззю науки та техніки, що заснована на синергетичному об'єднанні механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують проєктування та виробництво якісно нових модулів, систем машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Мехатроніка є своєрідною сучасною філософією проєктування складних керованих технічних об'єктів. Завдання мехатроніки як науки полягає в інтеграції знань з раніше відособлених галузей, таких як прецизійна механіка й комп'ютерне керування, інформаційні технології та мікроелектроніка. Мехатронний підхід до проєктування, наприклад, гірничого обладнання полягає в тому, що під час проєктування складного гірничого обладнання такі об'єкти повинні створюватися як органічні цілісні електро-механо-гідро-електронні технічні системи, що включають електронно-комп'ютерну апаратуру автоматизованого управління. Мехатроніка вже увійшла не лише до професійного, але й у повсякденне життя сучасної людини. Адже і домашні побутові машини, і трансмісії нових автомобілів, і цифрові відеокамери, і дисководи комп'ютерів побудовані на мехатронних принципах.

Останнім часом декількома компаніями активно ведуться роботи зі створення автомобіля без водія, автомобіля, керованого комп'ютером. В експериментах беруть участь десятки автомобілів різних класів [1, 2].

Історія наукових досліджень постійно нагадує про єдність законів природи, про закони збереження енергії різноманітних форм руху матерії – механічної, електричної, теплової, хімічної та ін. Проте, не лише закон збереження, а й теорема про зміну повної механічної енергії – це окремі випадки загального закону збереження і еквівалентного перетворення матерії і енергії, відкритого М.В. Ломоносовим. Якщо, приміром, робота не потенціальних сил додатна, то відбувається прилив механічної енергії внаслідок відповідного зменшення енергії інших немеханічних форм (теплової, електричної). Якщо ця робота від'ємна, то відбувається розсіювання (дисипація) механічної енергії, яка переходить в енергії інших видів. [2, 3].

**Мета дослідження.** Здійснити аналіз впливу теоретичної механіки, як фундаментальної науки, в дослідженнях процесів мехатроніки.

**Виклад основного матеріалу.** Мехатроніка (рос. мехатроника, англ. mechatronics, нім. mechatronik) – галузь науки та техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують проектування та виробництво якісно нових модулів, систем машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами.

В основі побудови мехатронних систем лежать принципи синергетики – поєднання в одному агрегаті компонент різної технічної природи (механічних, електротехнічних, комп'ютерних), які адаптивно взаємодіють із зовнішнім середовищем як єдиний функціональний і конструктивний організм. Синергетичну інтеграцію в мехатроніці під час проектування здійснюють двома способами:

1) шляхом функціонально-структурної інтеграції, завданням якої є пошук мехатронних структур, що реалізують задані функціональні перетворення за допомогою мінімальної кількості структурних блоків і суміжних з ними інтерфейсів на основі програмно-апаратних елементів

або у вигляді механічних перетворювачів руху, електротехнічних або гідравлічних перетворювачів енергії;

2) структурно-конструктивної інтеграції, що полягає в мінімізації конструктивних рішень для реалізації необхідної структури. Синергетична інтеграція повинна виконуватися тільки на основі паралельного проєктування, методологією якого є одночасний і взаємопов'язаний синтез всіх компонент (традиційного й інтелектуального характеру) технічної системи мехатронного класу.

Термін «мехатроніка» уведений японцем Тецуро Моріа (Tetsuro Moria), старшим інженером компанії Yaskawa Electric, у 1969 році. Ця назва отримана комбінацією слів «МЕХАніка» і «елекТРОНІКА».

Незважаючи на наявність стандартного визначення, мехатроніка залишається дещо суперечливим поняттям. Часто цей термін використовують у значенні *електромеханіка*, що є суперечливим, але допустимим. Завдання мехатроніки як науки полягає в інтеграції знань із таких раніше відособлених галузей, як точна механіка та комп'ютерне керування, інформаційні технології та мікроелектроніка. На стиках цих наук і виникають нові ідеї мехатроніки. Науково-технічне рішення можна вважати мехатронним, якщо компоненти не просто взаємодіють один з одним, але при цьому утворена система має нові властивості, які не були властиві її складникам.

Чому механіка? Сьогодні без знання законів механіки неможливо уявити сучасне життя та розвиток цивілізації. Кожен крок людини пов'язаний з використанням пристроїв, механізмів та машин. Вони полегшують нам життя але й вимагають відповідних знань та умінь.

Переклад терміну «механіка» від грецького (μηχανική) – це мистецтво створення машин. Ця наука виникла в стародавні часи, на зорі розвитку нашої цивілізації. Усім відомі з дитинства імена великих механіків. Безцінний внесок у розвиток механіки внесли Ейлер, Лангранж, Якобі, Остроградський, Жуковський, Герц, Мещерський, Ціолковський та багато інших.

Кругом, де з'являлася людина, її діяльність була пов'язана з механікою. Перший трактат із механіки, що дійшов до наших часів, з'явився в стародавній Греції у вигляді твору Аристотеля (384–322 рр.

до н.е.). Далі наукові основи статички у механіці розробив Архімед (287–12 рр. до н.е.). Продовжив ці дослідження Герон Александрійський (I ст. до н.е.) та римський архітектор Марк Ветрувія (I ст. до н.е.). Так із покоління в покоління протягом багатьох століть розвивалась наука механіка. Відповідно до цього разом з розвитком людства удосконалювались існуючі механізми та з'являлись нові. Вони стали невід'ємною частиною життя з моменту свого виникнення.

Однак досить тривалий час прості пристосування не вимагали фахівців для їх обслуговування. Перші механіки з'явилися в Стародавньому Римі. Вони займалися обслуговуванням установок для перекачування води. Надалі професія починає свій стрімкий розвиток. З розробкою нових механізмів з'являлися і майстри, які забезпечували їхнє справне функціонування. Цих фахівців називали по-різному: ремісниками, робітниками тощо. Словом «механік» професію назвали в кінці XIX століття, після технічної революції. З цього моменту механізми постійно змінюються та модернізуються, те саме відбувається і з фахівцями-механіками.

Інженер-механік – це висококваліфікований фахівець у галузі механічних систем. Він знає особливості їхньої конструкції, послідовність ремонту та особливості обслуговування. Механіки – головні фахівці на виробничих підприємствах різних галузей промисловості де застосовується технічне обладнання. Сучасна професія механіка має широкий спектр необхідних навичок та знань. Це професія, яка вимагає постійного розвитку. Так фахівцю механіку потрібно бути в авангарді прогресу, постійно володіти інформацією щодо новітніх науково-технічних розробок та винаходів.

Ураховуючи величезну різноманітність техніки і механізмів, знання з одного напрямку механіки замало для їх проєктування, ремонту та обслуговування. Сучасний механік повинен володіти на належному рівні знаннями з електрики, електроніки та комп'ютерних наук. У сучасному світі механіка трансформувалась в мехатроніку. За визначенням мехатроніка – галузь науки та техніки, заснована на синергетичному об'єднанні вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами, що забезпечують

## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

проектування і виробництво якісно нових модулів, систем і машин з інтелектуальним управлінням їхніми функціональними рухами.

За даними Google їхні автомобілі на червень 2016 року в автономному режимі проїхали більше 2,7 мільйона кілометрів. Таким чином, «Мехатроніка – це нова галузь науки і техніки, присвячена створенню та експлуатації машин і систем із комп'ютерним керуванням рухом, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки й мікро-процесорної техніки, інформатики та комп'ютерного керування рухом машин і агрегатів». У цьому визначенні особливо підкреслена триєдина сутність мехатронних систем (МС), в основу побудови яких покладено ідею глибокого взаємозв'язку механічних, електронних і комп'ютерних елементів.

Відомо кілька визначень, опублікованих у періодичних виданнях, працях міжнародних конференцій і симпозіумів, де поняття про мехатроніку конкретизується та спеціалізується. На підставі розглянутих вище визначень пропонується таке спеціальне формулювання предмета мехатроніки: «Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем машин і комплексів машин з інтелектуальним керуванням їхніми функціональними рухами».

Одже, мехатроніка вирішує наступних три основні задачі:

*1 задача – задача механіки* направлена на спрощення кінематики просторових і багатоважільних механізмів машин за рахунок використання технічних засобів мехатроніки при створенні виконавчих механізмів і машин з електронною пам'яттю і «інтелектом»;

*2 задача – задача електроніки* направлена на вивчення на засадах об'єктно-орієнтованого проектування і технічних засобів для реалізації прямих і зворотних зв'язків в енергетичних і в інформаційних каналах передачі сигналів команд керування, сигналів адресів і сигналів даних в комбінованих схемах з контролером;

*3 задача – задача інформатики* направлена на використання знань інформаційних технологій для розкриття внутрішніх і зовнішніх

## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

зв'язків у тріаді «технологічна машина – рівняння причино-наслідкових зв'язків циклової системи керування – програмований контролер».

Велика роль теоретичної механіки як фундаментальної науки в дослідженнях процесів різної фізичної природи. Методи аналітичної механіки є універсальними та ефективними при розв'язанні багатьох задач електротехніки, починаючи зі складання контурних рівнянь електричних кіл і завершуючи моделюванням процесів на аналогових обчислювальних комплексах.

У сучасній науці розрізняють три фізичні концепції світу: механічну, електродинамічну і квантово-польову, відповідно до яких і виникли три основних теорії: механіка Ньютона, електродинаміка Максвелла і теорія відносності Ейнштейна. Але аналітична механіка є наукою, яка своїми методами наскрізь пронизує всі три картини світу.

Багато точних законів фізики можуть слугувати підтвердженням аналогічності рівнянь і виразів. Наприклад, структура всім відомих другого закону Ньютона, закону Гука і закону Ома є ідентичною:

$$m\vec{a} = \vec{F}; \quad cx = F; \quad Ri = U.$$

Спільним у цих виразах є те, що в них входять лише три величини, кожна з яких визначається і є незалежною.

Другий приклад. Візьмемо закон гравітації, відкритий Ньютоном, закон про взаємодію двох електричних зарядів, відкритий Кулоном, і закон взаємодії магнітних полів.

Закон всесвітнього притягання

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

де  $m_1, m_2$  – маси взаємодіючих тіл,  $\gamma$  – гравітаційна стала,  $r$  – відстань між тілами.

Аналогічний закон для електричних зарядів

$$F = \varepsilon \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

де  $\varepsilon$  – відносна діелектрична проникність,  $q_1, q_2$  – взаємодіючі електричні заряди,  $r$  – відстань між зарядами.

Закон взаємодії магнітних полів

$$F = \mu \frac{B_1 B_2}{r^2},$$

де  $\mu$  – магнітна проникність,  $B_1, B_2$  – магнітна індукція,  $r$  – відстань між джерелами магнітного поля.

Як легко побачити, структура алгебраїчних виразів цих законів повністю аналогічні, але фізична природа цих взаємодій є абсолютно різною.

Розглянемо приклад коливань тягаря масою  $m$ , підвішеного на вертикальній пружині з коефіцієнтом жорсткості  $c$ . Диференціальне рівняння вільних коливань цього тягаря має відомий вигляд

$$m\ddot{x} + cx = 0,$$

де  $x$  – переміщення тягаря.

Кожному параметру механічної системи можна поставити у відповідність параметр електричної системи і навпаки. Наприклад, інерційні властивості тіл в механічній системі залежать від маси і моментів інерції. В електричних системах існують аналоги цих понять – індуктивність і ємність. Диференціальне рівняння коливань електричного контуру, що складається з котушки індуктивності  $L$  і конденсатора ємності  $C$ , має аналогічний вигляд, як і для коливань тягаря.

$$L\ddot{q} + \frac{1}{C}q = 0,$$

де  $q$  – заряд конденсатора.

При дослідженні механічних матеріальних систем найчастіше застосовують рівняння Лагранжа другого роду. На практиці часто зустрічаються електромеханічні системи, механічний рух яких визначається силами електромагнітної природи. Максвелл у своїй праці про електрику і магнетизм застосував рівняння Лагранжа другого роду для дослідження системи, що містила механічні елементи і провідники зі струмом.

Центральним рівнянням аналітичної механіки є рівняння Лагранжа другого роду, в якому базовою величиною є енергія кінетична і потенціальна. Ці рівняння слугують основою для перенесення методів аналітичної механіки на електродинаміку у формі

рівнянь Лагранжа – Максвелла, де замість кінетичної і потенціальної енергії оперують енергією електричного і магнітного полів.

Таким чином, аналітична механіка є єдиною наукою, яка дає спільний апарат – рівняння Лагранжа-Максвелла для складання диференціальних рівнянь електромеханічних систем, які є основою сучасної техніки, бо сьогодні важко уявити прилад чи машину, де б були тільки механічні елементи.

Складання цих рівнянь передбачає, що стан електромеханічної системи описується узагальненими координатами механічної частини, кількість яких у голономних системах дорівнює числу ступенів вільності механізму, і узагальненими координатами електричної частини, які визначають стан електричної частини системи.

Узагальнені механічні координати позначимо  $q_i (q_1, q_2, \dots, q_n)$ , де число  $n$  дорівнює кількості ступенів вільності механізму. За узагальнені механічні координати, як і в першій частині книги, вибираємо лінійні або кутові параметри ланок.

Узагальнені електричні координати позначимо  $g_k (g_1, g_2, \dots, g_m)$ , де число  $m$  дорівнює кількості електричних ступенів вільності. За узагальнені електричні координати вибираємо кількості електрики (заряди).

Похідні за часом від узагальнених механічних координат уявляють узагальнені швидкості  $\dot{q}_i$ , а похідні за часом від узагальнених електричних уявляють узагальнені струми  $\dot{g}_k$ .

Рівняння Лагранжа-Максвелла для електромеханічних систем мають вигляд

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{g}_k} \right) - \frac{\partial L}{\partial g_k} = Q_k, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (2)$$

У цих рівняннях літера  $L$  є функцією Лагранжа-Максвелла, яка дорівнює сумі «електричної» функції Лагранжа  $L_E$  і «механічної» функції Лагранжа  $L_M$ :

$$L = L_E + L_M.$$



## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

«Механічна» функція Лагранжа, як відомо, рівна різниці кінетичної  $T$  і потенціальної енергії  $\Pi$  механічної системи

$$L_M = T + \Pi.$$

«Електрична» функція Лагранжа для механізмів з електроприводом співпадає з магнітною енергією системи

$$L_E = \frac{1}{2} \sum_{r,s=1}^{\infty} L_{rs} i_r i_s,$$

де  $r$  та  $s$  – незалежних електричних контурів (витків, обмоток), по яких протікають струми  $i_r$  та  $i_s$ ;  $L_{rs}$  при  $r \neq s$  – взаємна індуктивність (коефіцієнт взаємоіндукції), а при  $r = s$  – індуктивність (коефіцієнт самоіндукції).

Узагальнена або зведена сила  $Q_i$  визначається, що було вказано в першій частині книги, як скалярна величина, рівна коефіцієнту при варіації цієї узагальненої координати у виразі елементарної роботи сил.

Узагальнена «сила»  $Q_k$  визначається за аналогією з  $Q_i$ , як скалярна величина, що дорівнює коефіцієнту при варіації цієї «електричної» узагальненої координати у виразі елементарної роботи електричних сил

$$\delta A = \sum_{k=1}^m (E_{r,s} - R_{r,s} i_{r,s}) \delta g_k, \quad (3)$$

де  $E_{r,s}$  – електро-рушійна сила контуру,

$R_{r,s}$  – електричний опір контуру.

**Приклад 1.** Електромагнітний прилад складається із рухомої котушки певної маси, що обертається у сталому магнітному полі, який утворює інша нерухома котушка, що складають одна з однієї послідовний електричний ланцюг.

На рухому котушку діє пара сил з боку пружини з коефіцієнтом жорсткості  $c$ . В обертальній парі рухомої котушки має місце в'язке тертя з коефіцієнтом опору  $\beta$ .

За узагальнені координати системи приймаємо кут повороту рухомої котушки  $\varphi$  та струм  $i$ , що протікає крізь обмотки котушок. Тоді «механічна» функція Лагранжа приймає вигляд

$$L_M = \frac{1}{2}(J\dot{\varphi}^2 - c\varphi^2),$$

де  $J$  – момент інерції рухомої котушки відносно осі обертання.

«Електрична» функція Лагранжа має вигляд

$$L_E = \frac{1}{2}(L_1 + L_{12} + L_2)i^2,$$

де індекс 1 стосується рухомої котушки, а індекс 2 – нерухомої.

За умови симетрії взаємна індуктивність  $L_{12} = L_{21}$ . Позначимо їх суму (повний коефіцієнт взаємної індуктивності) через  $2M$  і приймемо до уваги, що цей коефіцієнт залежить від взаємного розміщення котушок, тобто від кута повороту рухомої котушки  $\varphi$ . Звичайно приймають

$$M = M_o \sin \varphi,$$

де кут повороту  $\varphi$  відраховується від положення, при якому котушки перпендикулярні. Індуктивність котушок  $L_1, L_2$  вважаємо сталими величинами.

Таким чином, остаточно функція Лагранжа-Максвелла має вигляд

$$L = \frac{1}{2}[(L_1 + L_2 + 2M_o \sin \varphi)i^2 + J\dot{\varphi}^2 - c\varphi^2]. \quad (4)$$

Узагальнена сила  $Q_i$  знаходиться із виразу елементарної роботи сил тертя на можливому переміщенні системи (робота сил пружності пружини врахована при складанні виразу потенціальної енергії):

$$\delta A = -\beta\dot{\varphi}\delta\varphi \Rightarrow Q_i = -\beta\dot{\varphi}.$$

Узагальнена сила  $Q_k$  знаходиться із виразу елементарної роботи «електричних сил»

$$\delta A = (E - iR)\delta\tilde{i} \Rightarrow Q_k = E - iR,$$

де  $R$  – сумарний опір обмоток котушок,

$E$  – зовнішня електрична рушійна сила.

Рівняння Лагранжа-Максвелла:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = -\beta\dot{\varphi}, \quad (5)$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial i}\right) = E - iR. \quad (6)$$

Визначимо похідні від функції Лагранжа-Максвелла:

$$\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} = J\dot{\varphi}; \quad \frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}}\right) = J\ddot{\varphi}; \quad \frac{\partial L}{\partial \varphi} = M_o i^2 \cos \varphi - c\varphi;$$

$$\frac{\partial L}{\partial i} = (L_1 + L_2 + 2M_o \sin \varphi)i;$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial i}\right) = (L_1 + L_2 + 2M_o \sin \varphi)\frac{di}{dt} + 2M_o i \dot{\varphi} \cos \varphi.$$

Підставимо в останні рівняння значення похідних. У підсумку отримуємо остаточно рівняння Лагранжа-Максвелла

$$\begin{aligned} J\ddot{\varphi} - M_o i^2 \cos \varphi + c\varphi &= -\beta\dot{\varphi}, \\ (L_1 + L_2 + 2M_o \sin \varphi)\frac{di}{dt} + 2M_o i \dot{\varphi} \cos \varphi &= E - iR. \end{aligned} \quad (7)$$

Сумісне розв'язання цих двох рівнянь дозволяє отримати шукані функції зміни узагальнених координат за часом

$$\varphi = \varphi(t); \quad i = i(t).$$

**Приклад 2.** За допомогою електродвигуна сталого струму з незалежним збудженням і параметрами:  $J_{зв}$  – зведений момент інерції;  $M_{зв}$  – зведений момент сил (задані параметри є функціями кута повороту ротора електродвигуна) рухається вхідна ланка механізму.

Скласти рівняння Лагранжа-Максвелла для заданої електромеханічної системи.

Позначимо індуктивності обмоток збудження і якоря літерами  $L_з, L_я$ , взаємну індуктивність через  $L_{зя}, L_{яз} = M$ , струми в обмотках збудження і якоря, відповідно, через  $i_з, i_я$ . Тоді функція Лагранжа-Максвелла отримує вигляд:

$$L = \frac{1}{2}(L_з i_з^2 + L_я i_я^2 + 2M i_з i_я + J_{зв} \dot{\varphi}^2). \quad (8)$$

Якщо вважати струмів в обмотці збудження сталим, то стан заданої електромеханічної системи визначається двома узагальненими координатами:

$\varphi$  – кут повороту якоря електродвигуна,

## Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України

$i_{\text{я}}$  – струм в обмотці якоря електродвигуна.

Узагальнені координати як функції часу можуть бути знайдені із рівнянь Лагранжа-Максвелла

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = M_{\text{зв}}; \quad (9)$$

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial i_{\text{я}}} \right) = U - i_{\text{я}} R_{\text{я}}; \quad (10)$$

де  $U$  – напруження, прикладене до обмотки якоря,  
 $R_{\text{я}}$  – опір обмотки якоря.

Під час диференціювання функції Лагранжа-Максвелла вважаємо індуктивності  $L_{\text{з}}$ ,  $L_{\text{я}}$  сталими, а взаємну індуктивність  $M$  – залежною від кута повороту якоря  $\varphi$ .

Виконуючи диференціювання, отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} &= J_{\text{зв}} \dot{\varphi}; & \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) &= J \ddot{\varphi} + \dot{\varphi}^2 \frac{dJ_{\text{зв}}}{d\varphi}; \\ \frac{\partial L}{\partial \varphi} &= \frac{dM}{d\varphi} i_{\text{я}} i_{\text{з}} + \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 \frac{dJ_{\text{зв}}}{d\varphi}; & \frac{\partial L}{\partial i_{\text{я}}} &= L_{\text{я}} i_{\text{я}} + M_{\text{з}} i_{\text{з}}; \\ \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial i_{\text{я}}} \right) &= L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + \frac{dM}{d\varphi} \dot{\varphi} i_{\text{з}}. \end{aligned}$$

Тепер рівняння Лагранжа-Максвелла приймають вигляд

$$\begin{aligned} J \ddot{\varphi} + \frac{1}{2} \dot{\varphi}^2 \frac{dJ_{\text{зв}}}{d\varphi} - \frac{dM}{d\varphi} i_{\text{я}} i_{\text{з}} &= M_{\text{зв}}; \\ L_{\text{я}} \frac{di_{\text{я}}}{dt} + \frac{dM}{d\varphi} \dot{\varphi} i_{\text{з}} &= U - i_{\text{я}} R_{\text{я}}. \end{aligned} \quad (11)$$

Сумісний розв'язок цих двох рівнянь дозволяє визначити шукані функції  $\varphi = \varphi(t)$ ;  $i_{\text{я}} = i_{\text{я}}(t)$ .

**Висновки.** Мехатроніка вивчає синергетичне об'єднання вузлів точної механіки з електронними, електротехнічними й комп'ютерними компонентами з метою проектування та виробництва якісно нових модулів, систем машин і комплексів машин з інтелектуальним керуванням їхніми функціональними рухами. Вагомим синергетичним елементом мехатроніки є механіка, як фундаментальна наука.

### Список використаних джерел

1. Бронніков А.І. Мехатроніка в освітньому та загальнонауковому контексті/ А.І. Бронніков, О.М. Цимбал, А.М. Сінотін. – Системи управління, навігації та зв'язку. Зб. наук. праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – 2017. Вип. 2 (42). – С. 30–32.
2. Исии Т., Симояма И., Иноуе Х. Мехатроника – М.: Мир, 1988 – 318 с.
3. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. – М.: Машиностроение, 2006. – 256 с.
4. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Мехатроніка>.

### ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ МЕХАТРОНИКИ

**Литвинов О.И., Лукач В.С., Федорина Т.П.**

**Аннотация.** Проведено исследование мехатроники, как области науки и техники, основанной на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов, приведены примеры решения задач.

**Ключевые слова:** мехатроника, механика, электроника, электротехника, компьютерная техника, синергетика.

### RESEARCH OF MECHATRONICS

**Litvinov O.I., Lukach V.S, Fedoryna T.P.**

**Abstract.** The study of mechanics as a science and technology based on the knowledge of mechanics, electronics and microprocessor engineering, computer science and computer control of the movement of machines and aggregates, provides examples of solving problems.

**Keywords:** mechatronics, mechanics, electronics, electrical engineering, computer engineering, synergetics.