

## ІСТОРИЧНИЙ ОПИС РОЗВИТКУ МЕХАНІКИ МАШИН

**Шут М.І.,**

*доктор фіз.- мат. наук, професор*

*Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,*

**Шут А.М.,**

*кандидат фіз.-мат. наук*

*Київський Національний університет технології і дизайну,*

**Форосяна Н.П.,**

*доцент КНТЕУ*

В роботі розглядаються окремі питання історії розвитку теорії і практики машин і механізмів. Проаналізувано внесок окремих учених у розвиток механіки машин і механізмів, зокрема, Ейлера, Г.Монта, А.Геніво, Р.Вілліса, В.Гамільтона.

В работе рассматриваются отдельные вопросы истории развития теории и практики машин и механизмов. Проанализовано вклад отдельных ученых в развитие механики машин и механизмов, в частности, Эйлера, Г. Монта, А. Генов, Р. Уиллиса, В. Гамильтона.

This paper examines selected issues of the history of theory and practice of machines and mechanisms. Are analyzed the contribution of individual scientists in the development of mechanical machinery, including Euler, G.Monti, A. Gene, R. Willis, W. Hamilton.

Так як головним призначенням машин протягом довгого часу було піднімання вантажів, то ще в античному світі існувала думка, що всі машини складаються із „простих машин” і єдиним правилом, за яким і будували машини було правило важеля. Власне машини як такі, з’явилися не раніше середини першого тисячоліття до нашої ери. Першими були водяні машини, будівельні машини, машини з піднімання води і зрошення земель, військові машини (катапульти, балісти).

Створення статистики „простих машин” належить Архімедові, який здійснив такі винаходи як нескінченний і прикріпний гвинт, зубчате колесо, різні військові машини і пристосування. Пізніше в елліністичну епоху олександрійський механік Герон написав декілька праць з прикладної механіки, у яких розглянув вантажопідйомні, водопідйомні і військові машини того часу, а також „автомати”.

Практична механіка ранньої Римської імперії знайшла своє відображення в енциклопедичному творі Вітрувія «десять книг про архітектуру». Машинам присвячена 10 книга цього твору. Саме тут ми знаходимо перше означення машини: «Машиною є структура з’єднаних разом дерев’яних частин, яка має велику силу для пересування вантажів».

Наука першого тисячоліття нашої ери не внесла історичного вкладу в механіку машин. У галузі практичної механіки найвидатнішими подіями можна вважати винахід механічного годинника IX–X ст. Наприкінці XII ст. у Європі з’явився і набув широкого використання повітряний млин. Таким чином, відбувається енергетичний прогрес: на рівні з силою мускулів людини і тварин використовують силу води та повітря. Поряд із

повітряними машинами з'являються масло збивальні машини, деревообробні млини. XIII ст. датуються трактати про машини, у яких більш-менш зрозумілі описи деяких машин. На межі XV–XVI ст. з'являються геніальні твори і роботи великого італійського вченого, механіка і художника Леонардо да Вінчі. Він не тільки вдосконалив велику кількість машин, додавши до них схеми, а розробив багато нових вузлів, деталей і машин. Але його роботи не були сприйняті сучасниками.

У другій половині XVI століття машинна техніка розвивається ще стрімкіше. Створюються мануфактури. Кількісний і якісний розвиток машин вимагав керівництва з машинознавства, „*театрів машин*” у яких, крім опису машин були описи окремих деталей і вузлів. Так, В. Брінгуччо і Г. Агрікола (наприкінці XV – початку XVII ст.) розглядають передачу від одного двигуна до кількох машин. Міланський лікар, інженер і математик Дж. Кардано сформулював загальне правило передачі руху в механізмах млинів і годинників. Багато кінематичних ідей є в книзі А. Рамеллі «*Різні і витончені машини*».

У XVII – на початку XVIII ст. «*технологічні млини*» отримали значний розвиток у Нідерландах. Саме тут публікується «*Книга про млини*» П.Лімперка (1690), «*Велика загальна книга про млини*» Я.Ван-дер-Зіла (1734) та ін.

У 1724 р. у Саксонії виходить у світ багатотомна енциклопедія Я. Лейпольда «*Театр машин*». За життя автора вийшло сім томів, а після смерті ще два, з яких останній, дев'ятий, був написаний вже іншим автором, але можливо, за матеріалами, зібраними Лейпольдом. Ця грандіозна праця неодноразово передруковувалась у якості навчального твору, яким користувались навіть на початку XIX ст. Лейпольд вперше намагається не лише описати машини, але й знайти принципи їх побудови. За його означенням, «*машини є штучною спорудою, завдяки якій можна отримати корисний рух і пересування предметів зберігаючи час і силу, чого не можна було б досягти інакше. Машини бувають прості і складні. До простих машин відносять так звані важелі, блоки, ворота, клин, гвинт.*

*Складні машини – ті, які складаються із двох або більше однорідних або різних простих машин: сюди слід віднести всі види млинів, фонтани...»*

У XVIII ст. були з'ясовані деякі питання теорії зубчатого з'єднання (Лагів, Камю, Ейлер), досліджено сухе тертя тіл при невеликих швидкостях руху (Амонтон, Белідор, Ейлер, Кулон, Проні), дано початок теорії тертя еластичних тіл (Ейлер). Але всі ці дослідження були лише деякими питаннями теорії машин. Проте у XVIII ст. наука про машини так і не була сформована. Замість неї була теорія «*простих машин*». Навіть на початку другої половини XVIII ст. вчені Петербурзької Академії публікуючи основні роботи з механіки машин користуються все тією ж теорією «*простих машин*» (Ейлер, Крав, Котельников).

Виникнення теорії механіки машин наприкінці XVIII ст. належить роботам Л. Ейлера, Г. Монжа.

Пріоритетом у розвитку динаміки машин безперечно належить Ейлеру. У своїх працях він наголошує про необхідність виділення із загальної механіки питань, які безпосередньо належать чистому рухові (тобто питання кінематики). Він зазначав ненауковість вивчення машин з позицій простих механізмів, тобто у стані спокою. «*Головною ознакою машини є рух, а отже, і вивчати її потрібно у стані руху із врахуванням*

*дії сили*» – писав Ейлер. Кожна машина повинна мати: силу, що надає їй руху, передаючий механізм і корисне навантаження. Також розглядав рівняння руху машин, коефіцієнт корисної дії та інші характеристики.

Необхідність у теорії механіки машин виникла наприкінці XVIII ст., коли в результаті промислового буму з'явилась нова галузь промисловості – *машинобудівна*.

Гаспар Монж встановив, що основною функцією машин є передача і перетворення руху. Він запропонував на основі цього принципу класифікувати рух і виявити ті *«елементарні машини»* (механізми), завдяки яким можна отримати встановлені перетворення руху. Метод Монжа був розроблений його учнем і послідовником у Парижській політехнічній школі Ж. Ансеттом і двома викладачами Вищої школи А. Бетанкуром і Х.М. Ланцем.

У 1807 р. Бетанкур разом з Ланцем написав *«Курс побудови машин»*, який у 1808 р. був виданий Радою Політехнічної школи в якості підручника.

Підручник, написаний Ланцем і Бетанкуром, витримав три перевидання й мав великий вплив на розвиток науки про машини. У ньому було вперше систематизовано *«елементарні машини»*. Виходячи із принципу Монжа, автори запропонували розділити всі *«елементарні машини на 21 групу за типом виконання перетворення руху: наприклад, перетворення прямолінійного неперервного руху в обертальний неперервний; прямолінійного обертально-поступального в обертальний неперервний і т.п.»* Таким чином, при вивченні машин кінематичні якості вперше були поставлені, як головні.

Навчальний посібник Ашетта відрізняється від розглянутого тим, що він розглядає рух машин з позицій динаміки. Його класифікація була набагато простішою ніж його попередників.

Наприкінці XVIII – початку XIX ст. універсальний двигун – парова машина – вже зайняла всі ключові позиції у промисловості, як у гірничій, так і у фабрично-заводській, і поступово охоплюючи транспорт. У 1810 р. у Парижі вийшла в світ праця А. Геніво *«Досвід науки про машини»*, в якій він уперше дає теорію маховика. А. Геніво вважав, що радіус маховика слід робити великим: при цьому маса обода буде залежати від потужності машини; дано рекомендації з використання маховика в машинах. Значних успіхів у теорії маховика досяг А. Нав'є, якому належать перші теоретичні розрахунки ваги обода маховика.

Динаміка машин знайшла розвиток у роботах бельгійського вченого Ж.Ж. Крістіана, що довгий час був директором Паризької консерваторії мистецтв і ремесел.

Але важливе значення для створення динаміки машин мали роботи Г. Коріоліса, а особливо Ж.-В. Понсельє.

Дослідження Понсельє в галузі прикладної механіки викладені в його курсах, що друкувалися під різними назвами майже до кінця XIX ст. Разом із Коріолісом він ввів у механіку поняття роботи, ввів на основі принципу живих сил загальне рівняння руху машин і привів до ладу всі задачі динаміки машин, розв'язаних на той час. Щодо кінематики, то Понсельє наслідував туринського академіка Ж. Борні, який у 1818-1821 рр. опублікував восьмитомник енциклопедичних творів із теорії машин, які мали деякі відмінності із роботою Монжа.

До першої чверті XIX ст. віднесено узагальнення поняття – кінематика. Цій темі присвячені роботи польського математика і філософа І.Геке-Вронського і французького фізика А. Ампера.

У 1837 р. була опублікована праця Ампера «Досвід класифікації наук». У ній вперше зустрічається слово «кінематика», винайдене самим автором.

Розробка поняття кінематики механізму продовжується в Англії. У 1841 р. професор Кембріджського університету Р.Вілліс друкує свій чудовий твір «Принципи механізмів». У ньому вперше уточнюються поняття механізму, вводиться новий принцип класифікації механізмів, розробляється теорія зчеплення і систематизуються всі знання у галузі теорії механізмів того часу.

В основі класифікації Вілліса лежить відношення швидкостей та елементарна форма механізму. За цією класифікацією всі механізми розділені на чотири групи: I – з'єднання за типом кочення; II – за ковзанням; III – плавне зчеплення; IV – шарнірне. Класифікація Вілліса була значним кроком вперед. Нею користувалися аж до 30-х років XX ст. Вона зазнала лише незначних змін і доповнень. Але все ж вона не змогла розв'язати головну проблему, що постала перед кінематикою: створення єдиних методів дослідження механізмів. Як у роботах Монжа, так і в роботах Вілліса одні і ті ж механізми належали до різних розділів класифікації.

У цей час активно розвивається аналітична механіка. Загальні рівняння Лагранжа механічної системи з скінченною кількістю ступенів вільності узагальнили роботи механіків і математиків кінця XVIII ст. Ці рівняння дали можливість звести розв'язок будь-якої задачі про рух механічної системи до інтегрального чи диференціального рівняння. Таким чином, виникло нове вчення – аналітична механіка.

Весь розвиток механіки у XIX ст. пов'язаний з роботами ірландського математика В. Гамільтона, який запропонував нові методи для інтегрування рівнянь аналітичної механіки.

Дослідження Гамільтона з аналітичної механіки були ніби продовженням великого твору Брінкля під назвою «*Theory of System of Rays*» (1818 р.), що були представлені у 1834 – 1835 рр. і були невдовзі опубліковані. Ці роботи давали опис загального методу динаміки і були базою розвитку всієї аналітичної механіки XIX ст.

У першій частині мемуару «*Про загальний метод у динаміці*» Гамільтон використовує отримані ним формули до розв'язку задачі про дві точки, взаємо притягвані за будь-яким законом залежно від відстані між ними. Із великою точністю і скрупульозністю розглядає випадок притягання, обернено пропорційного квадрату відстані.

У другій частині свого мемуару Гамільтон звертає увагу на загальну задачу про рух трьох і більше тіл, що підкоряються будь-якому закону притягання. Записує рівняння для визначення характеристичної функції і пропонує наближений метод для визначення даної функції, коли одне із тіл має порівняно велику масу.

Завдяки цьому методу Гамільтон пропонує переглянути визначення збурень орбіт планет.

У другому мемуарі «*Другий нарис про загальний метод у динаміці*» Гамільтон звертається до встановлення нової форми рівняння руху системи вільних матеріальних точок

у довільній криволінійній системі координат. Використовуючи принцип Даламбера він встановлює рівняння Лагранжа і, вводячи в них замість похідних нові змінні, отримує знамениті канонічні рівняння, які використовуються і сьогодні.

Отже, розглядаючи у двох мемуарах лише рух вільних точок, Гамільтон встановив канонічну систему рівнянь саме для руху таких точок.

Доречно сказати, що вагома частина *«Другого нарису про загальний метод у динаміці»* присвячена побудові теорії збурень на основі канонічних рівнянь і понятті головної функції. Гамільтон пропонує два методи в теорії збурень. Перший метод ґрунтується на введенні поправок до початкових значень змінних у незбуреній задачі. Другий – тісно зв'язаний з теорією канонічних перетворень рівнянь динаміки.

Головна ціль, яку ставив перед собою Гамільтон, полягала в розвитку метода інтегрування рівнянь динаміки. Ціль була досягнута.

Дослідження Гамільтона дозволили з'явитись численним і важливим роботам з аналітичної механіки в ХІХ ст., а деякі наслідки варіаційних рівнянь розглядаються і нині. Серед численних робіт ХІХ ст. вирізняються роботи К. Якобі, які безпосередньо продовжують дослідження Гамільтона. Головні результати, отримані Якобі з аналітичної механіки, були викладені ним у курсі лекцій, які він прочитав зимового семестру у Кенігсберзькому університеті 1842-1843 рр.

У перших семи лекціях Якобі виводить рівняння динаміки систем із принципу Даламбера і, користуючись цим принципом, дає інтеграли руху центра тяжіння, інтеграли площі, інтеграли живих сил; у цих же лекціях дає виклад *принципу найменшої дії* – так звані *«умови Якобі»*. У восьмій і дев'ятій лекціях Якобі переходить до викладення механіки Гамільтона. Крім того слід зазначити, що канонічні рівняння Гамільтона Якобі застосовує і для точок, рух яких підкоряється геометричним зв'язкам.

Головною частиною *«Лекцій динаміки»* (1936 р.) є та, де Якобі дає свою теорію *«останнього множника»*.

Загальні теореми про множник Якобі використав при розв'язку цілої низки задач і до теорії інтегрування диференціальних рівнянь механіки, взятих у їх різноманітних формах.

У 19, 20 і 21 лекціях Якобі вносить істотне вдосконалення в метод інтегрування канонічних рівнянь Гамільтона. Сьогодні ця теорія відома як теорема Якобі – Гамільтона. Саме Якобі дав новий розв'язок відомих задач небесної механіки про рух планет у полі тяжіння Сонця; про рух точки, що притягується двома нерухомими центрами; разом з тим він визначив геодезичні лінії триосного еліпсоїда. Розв'язок двох останніх задач Якобі описав викладенням теорії еліптичних координат у багатомірному просторі.

Необхідно згадати й роботи М.В. Остроградського з аналітичної механіки, які в основному з'явилися під впливом робіт Лагранжа.

У статті *«Загальні міркування відносно моментів сил»* (Зібрання робіт, 1958) Остроградський розглядає питання про використання методів аналітичної статички до визначення рівноваги механічних систем, що підкоряються несталим силам. Аналізуючи поняття про можливі переміщення, він показує зміну основного рівняння аналітичної статички при наявності таких зв'язків. Цьому ж питанню присвячені й наступні його роботи: *«Про миттєве переміщення систем під дією змінних умов»* та *«Про принцип віртуальних*

*швидкостей і про силу інерції»,* які стали наслідком підготовки його до читання лекцій з механіки.

Остроградський намагався викласти з належною якістю поняття про можливі переміщення для стаціонарних зв'язків і для зв'язків, які залежать від часу.

Дуже цікава робота про метод варіацій довільних сталих у використанні до інтегрування рівнянь Гамільтона: *«Про варіації довільних сталих у задачах динаміки»*. У цій роботі Остроградський виводить із великою витонченістю диференціальне рівняння теорії збурень, використовуючи дужки Пуассона і записуючи завдяки ним похідні від сталих, які входять до інтегралів незбуреного руху. У всій статті використовуються лінійні форми від варіацій канонічних змінних, відомих сьогодні в теорії інтегральних інваріантів динамічних систем.

У статті *«Про інтеграли загальних рівнянь динаміки»* Остроградський показує, що теорія інтегрування рівнянь динаміки за допомогою повного інтеграла Гамільтона – Якобі може бути поширена і на механічні задачі, коли рух системи залежить від часу.

При відшуканні випадків інтегрування рівнянь динаміки цілком нова ідея була внесена в аналітичну механіку К. Вейерштрассом. Розглядаючи задачу про рух важкого твердого тіла навколо нерухомої точки, він поставив запитання: коли рівняння цієї задачі можуть бути проінтегровані в функціях часу? Подібне використання теорії функцій комплексної змінної до аналітичної механіки відразу дало результати: роботи С.В. Ковалевської, яка відкрила новий випадок інтегрування другого порядку, привели до відкриття сімейства нових трансцендентних аналітичних функцій.

### Список використаної літератури

1. Марк Витрувий. Десять книг по архитектуре / Перев. Ф.А.Петровского. – М.: Соцэкгиз, 1934. – 190 с.)
2. Рыжков К.В. 100 великих изобретений. – М.: Вече, 1999. – 528 с. – (100 великих).
3. История механики с конца XVIII века до середины XX века. / Под общей редакцией А.П. Григорьяна, И.Б. Погребыцкого. – М.: Изд-во «Наука», 1972. – 394 с.
4. Sivan Kartha, Patric Grimes. Fuel cells: Energy conversion for the next century/ Physics Today. –1994. – N11. – p. 53-61.
5. Б. А. Лукіянець. Екологічні проблеми з точки зору термодинаміки. ДУЛП, Львів, 1996. – 40 с.
6. Історія танкобудування України. Персоналії: Навч. посібн. / Є.Є. Александров, І.Є. Александрова, Л.М. Бесов та ін. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – 200 с.
7. Таньшина А.В. Основатели харьковских научных школ в физике. Учеб. пособие по истории физики. – Ч.1. – Х.: Изд-во Харьковского университета, 2002. – 512 с.