

ФІЗИКА

ОКРЕМІ ПИТАННЯ ІСТОРІЇ РОЗВИТКУ МЕХАНІКИ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

Шут М.І.,

*доктор фіз.- мат. наук, професор,
академік Національної академії педагогічних наук України,
Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова,*

Шут А.М.,

*кандидат фіз.-мат. наук, доцент,
Київський національний університет технологій і дизайну,*

Форотяня Н.П.,

*кандидат пед. наук, доцент,
Київський національний торговельно-економічний університет*

У роботі розглядаються окремі питання історії розвитку теорії і практики машин і механізмів. Проаналізовано 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.

Серед учених аналітичної механіки чинне місце займає французький геометр Д. Пуассон. У своїх численних роботах, присвячених переважно задачам математичної фізики, Пуассон дав нові методи дослідження питань теорії потенціалу, теорії капілярних явищ і розповсюдження звукових і поверхневих хвиль.

Займаючись задачами небесної механіки про збурення планетних орбіт і про рух Землі навколо її центра тяжіння, Пуассон прийшов до чудової теореми, згідно з якою з'явилася надія на просте розв'язання задач динаміки, – здавалося, що достатньо знати два інтеграла рівнянь руху, щоб отримати із них повторним використанням теореми Пуассона всі інтеграли задачі, яких не вистачає; таке отримання інтегралів вимагало б лише диференціального розрахунку. Але невдовзі було з'ясовано, що із двох зазвичай відомих інтегралів – живих сил і площ – ніяких інших інтегралів отримати не вдалося, бо дужки Пуассона зводились до нуля або до функції.

Велике значення для розвитку теорії канонічних рівнянь мала робота В. Донкіна. У цій винятково просто написаній роботі дається завершене викладення всіх питань, пов'язаних із задачами канонічних перетворень та із задачею інтегрування рівнянь Гамільтона методом відшукування повного інтеграла. Загальне положення своєї теорії Донкін використовує до встановлення рівнянь теорії збуреного руху. У своєму викладі Донкін

широко використовує функціональні визначення і дужки Пуассона, встановлюючи для них нові співвідношення і формулюючи отримані теореми за допомогою цих дужок.

Усі викладені роботи Гамільтона і його послідовників носять чисто аналітичний характер і, в головних рисах, повністю описують задачу про інтегрування рівнянь динаміки. З нової точки зору, геометричної, дійшов до розгляду методу Гамільтона норвезький математик С. Лі. У своїх численних працях, присвячених неперервним групам перетворень, Лі побудував теорію інтегрування диференціальних рівнянь на цілковито оригінальних геометричних основах. Для задач аналітичної механіки особливе значення мають роботи Лі завдяки заснованій ним теорії перетворень дотикання.

Вагомі результати в механіці, цінність яких останнім часом все зростає в зв'язку з їх використанням у математиці до задач і теоретичної, і прикладної механіки, належать А.М. Ляпунову.

Істотно нові ідеї були запропоновані А. Пуанкаре у 80-х роках XIX століття. Серед численних методів, розроблених Пуанкаре для дослідження задачі трьох тіл, особливе місце займає метод інтегральних інваріантів для розв'язання питань, пов'язаних із розміщенням інтегральних кривих та стійким рухом механічних систем. Одночасно метод інтегральних інваріантів дозволяє об'єднати різні напрямки аналітичної механіки, даючи просте доведення теореми і встановлюючи їх зв'язок. Виникнення основних понять теорії інтегральних інваріантів можна відшукати в гідродинаміці при виведенні рівнянь руху рідини та в дослідженнях вихрових рухів ідеальної рідини, виконаних Гельмгольцем і Кельвіном; разом із тим можна знайти часткові приклади інтегральних інваріантів і в роботах Лагранжа в методі варіації довільних сталих. Для завершеності теорії інтегральних інваріантів Пуанкаре зустрівся з необхідністю узагальнення понять про «*кратний інтеграл*».

Розгляд руху різних механічних систем показує, що неможливо виразити координати точок системи в явному вигляді через вільні параметри, бо за умовою руху зв'язку, якому підкоряється система, записуються у більшості випадків у вигляді не інтегрованих лінійних співвідношень між варіаціями геометрично незалежних параметрів. Із такими умовами ми завжди зустрічаємося, розглядаючи кочення без ковзання одного твердого тіла відносно іншого. Умова відсутності ковзання в точці дотику тіл записується рівністю нулю лінійних диференціальних форм, при цьому неможливо знайти такі множники, які б перетворювали форму у повний диференціал і тим самим давали б співвідношення між параметрами, які визначають положення тіла у просторі.

За пропозицією Г. Герца механічні системи, що підкоряються у своєму русі не інтегруючим зв'язкам, стали називати *неголономними системами*. Для цих систем не справедливі рівняння ні Лагранжа, ні Гамільтона у тому вигляді, який не має реакцій зв'язку. Вперше у світовій літературі загальні рівняння руху неголономних систем були отримані Дж. Гіббсом, одним із засновників статистичної механіки, в маловідомій і майже забутій праці, опублікованій у 1879 р. «*On the fundamental formulae of dynamics*». В основу своїх виведень Гіббс поклав загальні рівняння Даламбера.

Таку ж систему рівнянь, як у Гіббса, отримав П. Аппель у 1899 році знову ж таки із принципа Даламбера, але трохи іншим шляхом. Одночасно Аппель дав цілу низку застосувань знайдених рівнянь до динаміки твердих тіл і вивів загальні теореми. Варто зазначити, що Гіббс та Аппель дали простий шлях виведення рівнянь із принципа Гаусса.

Якщо не враховувати роботи Гіббса, то пріорітетною роботою у складанні рівнянь неголономних систем є роботи С. Чаплигіна (1897). Теорії руху неголономних систем Чаплигін присвятив низку статей, у яких він розглядає ряд задач про кочення твердих тіл. Ці задачі він розв'язував шляхом загальних теорем динаміки. Таким чином, у 40-х роках XIX ст. теорія механізмів була все ще описовою наукою.

Наприкінці XIX ст. отримала свій розвиток вища технічна освіта в Німеччині і Австрії. Вивчення відбувалося не ідеальних механізмів, а реально існуючих. Результатом таких досліджень стало створення розділу науки – *«деталі машин»*, засновниками якого стали Ю. Вейсбах і Ф. Редтенбахер.

Постала нова проблема – створити механізм, який задовольняв би будь-яким вимогам практики. Над розв'язком даної проблеми працював П.Л. Чебишев. Саме він створив теорію шарнірних (важільних) механізмів і аналітичного синтезу механізмів. Заклав основи теорії структури механізмів і вивів формулу існування механізму, що носить нині його ім'я. Ідеї П.Л. Чебишева знайшли широке застосування в Англії у другій половині XIX ст.

Теоретичними ж питаннями кінематики механізмів займалися А. Келі та Дж. Сільвер. У 70-х роках англійські вчені успішно працювали над проблемою побудови механізмів із перетворення прямолінійного і колового рухів. Базою для таких досліджень були роботи П.Л. Чебишева та французького інженера Ш. Понсельє.

В останній чверті XIX ст. з'являються роботи Г. Гарта, О.Б. Кетпе і С. Робертса в галузі шарнірних механізмів.

У 60-70-х роках XIX ст. питаннями конструювання математичних шарнірних механізмів займався професор Львівського політехнікуму і Львівського університету Л. Жмурко. Принципи синтезу цих приладів він виклав у курсі математики, прочитаного у 1861 р. Прилади Жмурко були виставлені в 1876 р. у Лондоні і Парижі. Із них найвідоміші фонограф, циклоідограф і інтегратор.

Теорія шарнірних механізмів отримала свій розвиток у 1890 – 1900 роках у теорії структури і кінематики механізмів.

У 70-х роках XIX ст. Ф. Рело узагальнив принципи побудови механізмів і написав курс *«Теоретична кінематика»* (1875 р.). У 1900 р. Рело видає другий том своєї роботи, в якій частково переглянув деякі спірні моменти і тому книга набула більшої популярності, ніж попередня.

Одним із послідовників Рело був професор Новоросійського університету В.М. Лігін, який створив у Одесі своєрідну школу кінематики механізмів, її найбільш яскравими представниками були учні Лігіна Х.І. Гохман, І.М. Занчевський і Д.М. Зейлігер.

Праці самого Лігіна, присвячені теорії зубчатих і шарнірних механізмів. Займався він також історією науки. Саме Лігіну належить перша бібліографія з шарнірних механізмів.

Дві роботи Гохмана присвячені кінематиці механізмів і теорії зчеплення, у яких він дав нові ідеї, що слугували для створення нових машин. Цікавими і передовими ідеями була наповнена теорія Занчевського і Зейлігера – *«теорія гвинтового розрахунку»*.

У другій половині XIX ст. парові машини стають все більш і більш швидкохідними – середня швидкість руху поршня досягла 7 м/с. Це викликало необхідність врахування сил тертя, інерції. Це була ера парових машин. Цікавими роботами того часу були роботи з теорії

гідродинамічного тертя М.П. Петрова, І.А. Вишнеградського, Д. Уатта та інших. У побудові машин найголовнішу роль відіграло регулювання роботи механізмів, зменшення їх розмірів і мас. У 1868 р. знаменитий фізик Дж. Максвелл написав навіть капітальну працю «Про регулятори».

У 1908 році питаннями кінематикостатичного розрахунку механізмів займалися М.Є. Жуковський та його учень Л.В. Ассур.

Всі ці дослідження в галузі теорії шарнірних механізмів знайшли своє продовження у 1890-1900 рр., коли на їх основі була розроблена теорія структури і кінематики механізмів.

Теоретичний рівень досліджень у галузі машин у Росії до Жовтневої революції 1917 року був достатньо високим. У цій галузі працювали такі вчені, як плеяда учнів П.Л. Чебишева – О.І. Сомов, І.О. Вишнегородський, М.П. Петров, М.Є. Жуковський, Н.Д. Брашман, О.С. Єршов, В.Л. Кірпічов, Ф.Е. Орлов, В.М. Лагін та багато інших. Праці цих вчених дали зовсім нові напрямки в роботі – вчення про структуру механізмів, теорія рідкого тертя, вчення про регулятор. Механіка машин, теорія і побудова машин були навчальними предметами у вузах, теоретичні основи машинобудівництва були важливою частиною наукових досліджень і фундаментальною базою підготовки інженерів-механіків. Все це разом давало вагоме наукове підґрунтя для розвитку досліджень у галузі машин у подальші роки.

Початок ХХ ст. (майже до 1917 р.) характеризувався значним спадом зацікавленості проблемами механізмів і машин. Навіть у США із другої половини ХІХ ст. і до початку ХХ ст. теорія машин і механізмів не розвивалась. У Росії розвиток теорії машин пов'язаний в основному з М.Є. Жуковським (Московський університет), П.Л. Чебишевим (Петербурзька школа), В.М. Лігіним (Одеська школа). Лише з 20-х років ХХ ст. відродились роботи над розробкою нових механізмів та машин.

Розвиток машинобудівельної галузі обумовив розвиток досліджень у галузі механіки машин. Вагому роль відіграла робота і педагогічна діяльність В.П. Горячкіна. Він був засновником нового вчення – вчення про робочі машини. До 1917 року роботи Горячкіна „Теорія жнивувальних машин”, „Теорія барабана”, „Сили інерції і їх збалансування”, у 1919 р. – „Землеобробна механіка” (перевидана у 20-х ст.) – були одними з перших книг у світі, які узагальнили найбільш важливі питання теорії робочих машин. Він склав програми досліджень, дав ґрунтовні викладки, узагальнив результати для багатьох сільськогосподарських машин. За його ініціативою наприкінці 20-х років у деяких вузах були відкриті факультети механізації сільського господарства і створені перші дослідницькі інститути цього напрямку – Всесоюзний інститут сільськогосподарських машин, Всесоюзний інститут механізації. Учнями Горячкіна були видатні вчені – І.І. Артоболевський, В.В. Добровольський та ін.

Цікавою є робота М.І. Мерцалова, його курс „Загальна теорія механізмів” (1904), охоплювала теорію кінематики механізмів і динаміку машин, двічі видавалась до революції, а потім ще раз через 40 років. Оскільки теорія просторових механізмів і динаміки машин виявлялась у 20-і роки одним із забутих питань, то Мерцалов ввів до традиційного курсу теорії спеціальний розділ і отримав не підручник, а ґрунтовний науковий трактат, у якому узагальнено більшість питань теорії механізмів і машин.

Особливо потрібно відмітити роботу одного із учнів М.Е.Жуковського, видатного теоретика в галузі теорії механізмів і машин Л.В. Ассура. Головна мета його робота – пошук загальних методів аналізу плоских механізмів. Ці ідеї ґрунтувались на теорії шарнірних механізмів (як у П.Л. Чебишева). Його робота „Дослідження плоских вістряних механізмів з точки зору їх структури і класифікації” (1914-1918) стала класикою.

Результати робіт у галузі теорії машин знаходили все більше застосування в курсах прикладної механіки і теоретичного машинобудування у вищій школі. Вагомий внесок у створення таких курсів вніс О.П. Малишев, який протягом 36 років керував кафедрою механіки машин у Московському текстильному інституті. Створена ним при кафедрі лабораторія була першою в Росії. Роботи Малишева „Аналіз і синтез механізмів з точки зору їх структури” (1923), „Прикладна механіка” (1923), підручник „Кінематика механізмів” (1933) були стимулом для подальших досліджень.

У цей час з’являються роботи Я.В. Столярова „теорія механізмів” (1923), у якій автор запропонував свою оригінальну класифікацію механізмів. У основу було покладено три фактори: число з’єднань, кінематична характеристика з’єднань і кінематична характеристика пар. Винятковістю книги було те, що Столяров об’єднав виклад питань з кінематики і динаміки механізмів. Це було вперше.

Важливу роль у становленні науки про машини зіграли Всесоюзні науково-інженерні технічні об’єднання, створені в 1932 р. Ці спілки об’єднували в своїх рядах наукових працівників, викладачів, інженерів, працівників різних галузей. Всесоюзні конференції (1933, 1934) були серйозними стимулами для теоретичних і експериментальних досліджень в галузях машинобудування. Створювались все нові наукові інститути, що мали тісний зв’язок із промисловістю.

З 1947 р. відновили свою роботу семінари з теорії механізмів і машин. Подальший розвиток отримала теорія зубчатого зчеплення і зубчатих механізмів (в роки війни танки, літаки, автомашина вимагали бездоганної зубчатої передачі). Велику роль у цьому відіграли роботи О.І. Петрусевича з розрахунку зубчатої передачі і т.п., а також роботи М.І. Колчіна, Х.Ф. Кетова, В.О. Зінов’єва, В.О. Гавриленка, С.М. Кожевнікова. Особлива увага була приділена машинам-автоматам і автоматичним лініям. Для цих машин розроблюються кулачкові, гідравлічні, пневматичні, гідропневматичні механізми. Авторами яких були: І.І. Артоболевський, С.І. Артоболевський, Г.А. Шаумян, В.А. Юдіна, В.В. Бердніков, Є.В. Герц, Є.Г. Нахапетян, Є.І. Шехвіц (1945 – 1952).

Вагомими стають роботи українських машинобудівних інститутів у Харкові (під керівництвом Я.Л. Геронімуса), Дніпропетровську (під керівництвом С.М. Кожевнікова, а пізніше В.М. Потураєва) та інших вузів.

У 60-ті роки ХХ ст. дослідження були направлені на розробку актуальних проблем теорії механізмів і машин, методів розрахунку деталей машин на міцність, вібрації, тертя і зношеність велика увага надавалась теорії міцності і надійності, оптимізації технічних процесів, автоматизації виробництва. Розв’язок цих питань дозволив більш широко використовувати електронно-обчислювальні машини (ЕОМ). Використання ЕОМ викликало поглиблене вивчення теорії коливань у машинах. Вивчення автоколивальних систем дозволило розширити дослідження коливань деталей роторних машин і механізмів,

розширити дослідження роторів потужних турбін, турбогенераторів, барабанів центрифуг, шпинделів станків.

У 70-80-х роках ХХ ст. більш детально вивчається вплив вібрації не лише на механізми, а й на людину-оператора. Розглядається система „людина-машина”. У 70-ті роки були проведені дослідження поведінки людини-оператора як живої ланки єдиної біотехнічної системи. Намітився новий напрямок розвитку теорії машин і механізмів – акустична динаміка машин. Акустична динаміка машин мала такі розділи: будівельна механіка певних класів машин (теорія точності, деформації, статика, кінематики, динаміки), хвильова механіка машин; теорія поширення коливальної енергії як основи віброакустичної діагностики якості і стану машини.

У 1977 р. був проведений перший з’їзд із теорії машин і механізмів у Алма-Аті. У його роботі взяли участь 700 вчених і спеціалістів із України, Росії, Казахстану, НДР, Польщі, Франції, США, Японії, Болгарії... На пленарних і секційних засіданнях було заслухано 412 доповідей. Матеріали з’їзду були опубліковані в цьому ж році. Робота з’їзду була присвячена головним чином питанню динаміки машин.

II Всесоюзний з’їзд із теорії машин і механізмів проходив у Одесі з 14 по 18 вересня 1982 р. У роботі з’їзду взяли участь 750 осіб, обговорено 672 доповіді. Особливу зацікавленість викликала проблема створення високоефективних і надійних машин майбутніх поколінь і нових автоматизованих виробництв на їх основі.

Таким чином, кінематика, механіка, динаміка машин і механізмів у сучасному її стані є комплексною наукою, в якій проблеми структури, кінематики і динаміки машин, їх аналіз і синтез тісно поєднані з проблемами управління машинами і проблемами їх оптимального проектування з використанням передових досягнень обчислювальної техніки, інформатики, біомеханіки систем „людина-машина”, досліджень з екології, ергономіки і ряду інших сучасних напрямків науки.

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. Погребыского. – 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.
8. М.І.Шут, Н.П. Форостяна Вибрані питання історії фізики –К. Вид-во НПУ імені М.П. Драгоманова, 2011. – 238 с.