



Булгаков Володимир Михайлович

Професор кафедри механіки НУБіП України, доктор технічних наук, професор, дійсний член (академік) НААН України, заслужений винахідник України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. Є автором і співавтором понад 150 наукових статей в іноземних виданнях, 650 авторських свідоцтв і патентів, 9 монографій, 29 підручників і навчальних посібників. Під його науковим началом захистили дисертації 6 докторів та 12 кандидатів технічних наук. Нагороджений орденом «За заслуги» III ступеня, нагрудним знаком "Відмінник освіти України" МОН, багатьма іншими відзнаками.

e-mail: vbulgakov@meta.ua



Черниш Олег Миколайович

Доцент кафедри механіки НУБіП України, кандидат технічних наук, доцент.

Викладає дисципліни «Теорія механізмів і машин», «Георетична механіка», «Прикладна механіка» «Проектування машин і обладнання (вібраційної дії)». Наукові інтереси пов'язані із моделюванням прикладних задач механіки, довговічністю і живучістю конструкцій, вібраційними процесами та переробкою продукції в агропромисловому виробництві. Автор понад 140 друкованих праць, у тому числі 5-и монографій, 17 підручників і навчальних посібників, 18 авторських свідоцтв і патентів.

Електронна адреса: chernysh@nubip.edu.ua



Адамчук Валерій Васильович

Директор Національного наукового центру «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України, доктор технічних наук, професор, академік Національної академії аграрних наук України. Заслужений діяч науки і техніки України.

Є фундатором наукового напрямку механізованого застосування мінеральних добрив і хімічних речовин, автором і співавтором понад 500 наукових праць, зокрема 30 книг, 47 методичних рекомендацій і брошур.

e-mail: nnc-imesg@ukr.net, nsc.imesg@gmail.com



Березовий Микола Георгійович

Завідувач кафедри механіки НУБіП України, кандидат технічних наук, доцент.

Напрямок наукових досліджень – розробка математичних моделей функціонування сільськогосподарських машин та їх робочих органів, динаміка механізмів і машинних агрегатів. Є автором і співавтором понад 210 наукових і навчально-методичних праць, у тому числі 32 наукових статей в іноземних виданнях, 53 патентів на винаходи, 6 навчальних посібників і 5 підручників.

e-mail: berезoviy@nubip.edu.ua



Яременко Вадим Володимирович

Доцент кафедри механіки НУБіП України, кандидат технічних наук, доцент.

В 2002-2007 рр. працював у Національному науковому центрі «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства» НААН України на посадах інженера, молодшого наукового співробітника, наукового співробітника. Напрямок наукових досліджень – технічна діагностика гідравлічних приводів сільськогосподарської техніки. Є автором і співавтором понад 50 наукових праць, 7 патентів, 4 підручників, 5 навчальних посібників, 3 монографій.

e-mail: yaremko@nubip.edu.ua

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	10
Вступ	12
Історичний розвиток науки про механізми і машини	14
ЧАСТИНА І. ОСНОВИ СТРУКТУРНОГО АНАЛІЗУ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН	
Розділ 1. Основні поняття структури машин і механізмів	34
1.1. Машини, механізми і їх моделі	34
1.2. Класифікація машин	37
1.3. Приводи машин і їх види	41
1.4. Поняття машинного агрегату	44
1.5. Механізм і його елементи	47
1.6. Основні види механізмів	50
1.7. Основні вимоги до сучасних механізмів і машин	53
Запитання та завдання для самоконтролю	56
Розділ 2. Кінематичні пари, ланцюги і з'єднання	57
2.1. Основні поняття	57
2.2. Класифікація кінематичних пар	58
2.3. Види в'язей в механізмах	73
2.4. Класифікація кінематичних ланцюгів	78
2.5. Кінематичні з'єднання	80
Запитання та завдання для самоконтролю	86
Розділ 3. Структурні схеми і формули механізмів	87
3.1. Механізми з нижчими кінематичними парами	87
3.2. Механізми з вищими кінематичними парами	97
3.2. Формули рухомості механізмів	113
3.3. Визначення рухомості важільних механізмів	114
3.4. Надлишкові в'язі і зайві ступені рухомості	118
3.5. Раціональні механізми	122
3.6. Заміна вищих кінематичних пар нижчими	126
Запитання та завдання для самоконтролю	128
Розділ 4. Структурний аналіз важільних механізмів	129
4.1. Структурна класифікація Ассура	129
4.2. Послідовність проведення структурного аналізу плоских важільних механізмів	134

4.3. Приклади структурного аналізу плоских важільних механізмів	136
Запитання та завдання для самоконтролю.....	149

Розділ 5. Структурний аналіз зубчастих механізмів..... 150

5.1. Переваги механізмів із вищими кінематичними парами	150
5.2. Загальна класифікація зубчастих механізмів	150
5.3. Триланкові циліндричні зубчасті механізми	153
5.4. Багатоланкові циліндричні зубчасті механізми із нерухомими осями коліс	154
5.5. Багатоланкові циліндричні зубчасті механізми із рухомими осями коліс	157
Запитання та завдання для самоконтролю.....	162

Розділ 6. Аналіз структури механізмів машин агропромисловості і загального призначення..... 163

6.1. Машини агропромислового виробництва	163
6.2. Роторні і транспортні машини агропромислового виробництва	176
6.3. Механізми загального призначення	185
Запитання та завдання для самоконтролю.....	193

ЧАСТИНА II. ОСНОВИ КІНЕМАТИЧНОГО АНАЛІЗУ МЕХАНІЗМІВ

Розділ 7. Графічні та графоаналітичні методи кінематичного аналізу важільних механізмів..... 194

7.1. Загальні задачі та методи кінематичного аналізу механізмів.....	194
7.2. Графічні методи кінематичного дослідження плоских важільних механізмів.....	196
7.3. Графоаналітичний метод кінематичного дослідження плоских важільних механізмів	221
Запитання та завдання для самоконтролю.....	250

Розділ 8. Аналітичні і експериментальні методи кінематичного аналізу важільних механізмів..... 251

8.1. Аналітична кінематика важільних механізмів	251
8.2. Функція положень та кінематичні передаточні функції механізму ..	252
8.3. Аналітична кінематика елементарних плоских важільних механізмів	255
8.4. Метод замкнених векторних контурів	268
8.5. Експериментальні методи кінематичного дослідження механізмів	287
8.6. Побудова кінематичних діаграм аналітичним методом	288

8.7. Кінематичне дослідження універсального шарніру і карданної передачі	291
Запитання та завдання для самоконтролю.....	302
Розділ 9. Кінематика зубчастих механізмів	303
9.1. Основні кінематичні характеристики механічних передач	303
9.2. Передаточні числа зубчастих механізмів з нерухомими осями коліс	306
9.3. Передаточні числа епіциклічних зубчасті механізмів. Формула Вілліса	311
9.4. Аналітичний метод визначення передаточних чисел.....	313
9.5. Перевірка кутових швидкостей зубчастих коліс механізмів графічним способом.....	318
Запитання та завдання для самоконтролю.....	327

ЧАСТИНА III. ОСНОВИ ДИНАМІКИ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН

Розділ 10. Силовий аналіз механізмів	328
10.1. Задачі динаміки механізмів і машин	328
10.2. Механічні характеристики робочих машин і двигунів	329
10.3. Сили, які діють на ланки механізмів, та їх характеристики	334
10.4. Сили інерції ланок плоских механізмів	335
10.5. Умова статичної визначеності плоского кінематичного ланцюга....	338
10.6. Послідовність проведення кінетостатичного дослідження.....	341
10.7. Силовий аналіз механізмів II класу графоаналітичним методом	342
10.8. Визначення реакцій в кінематичних парах. Плани сил.....	344
10.9. Кінетостатика ведучої ланки механізму. Зрівноважувальна сила і момент	350
10.10. Важіль М.Є. Жуковського	353
Запитання та завдання для самоконтролю.....	358
Розділ 11. Нерівномірність і регулювання руху механізмів і машин	359
11.1. Методи дослідження руху механізмів і машин	359
11.2. Динамічна модель машинного агрегату.....	361
11.3. Зведення сил, моментів сил, мас і моментів інерції.....	364
11.4. Рівняння руху машинного агрегату.....	369
11.5. Дослідження основних режимів руху машинного агрегату.....	374
11.6. Коефіцієнт нерівномірності руху машини	376
11.7. Механічний коефіцієнт корисної дії	381
11.8. Аналіз зміни кінетичної енергії машинного агрегату	384
11.9. Визначення кутової швидкості ланки зведення графічним способом	387

11.10. Визначення моменту інерції маховика за діаграмою Вітгенбауера	393
11.11. Регулятори швидкості	396
11.12. Аналітичний розв'язок рівнянь руху механізму	398
Запитання та завдання для самоконтролю	402
Розділ 12. Тертя і знос в механізмах і машинах	403
12.1. Основні поняття про тертя і його види	403
12.2. Тертя ковзання сухих тіл	405
12.3. Тертя в поступальній кінематичній парі	407
12.4. Тертя в обертальній кінематичній парі	411
12.5. Тертя ковзання змащених тіл	414
12.6. Тертя кочення	415
12.7. Знос елементів кінематичних пар	422
Запитання та завдання для самоконтролю	427
Розділ 13. Зрівноваження і віброзахист механізмів і машин	428
13.1. Задача зрівноваження механізмів	428
13.2. Зрівноваження обертових мас. Загальні положення	429
13.3. Балансування жорстких роторів	436
13.4. Зрівноваження механізмів. Загальні положення	446
13.5. Статичне зрівноваження рухомих мас механізму	448
13.6. Статичне зрівноваження методом головних точок	452
13.7. Зрівноваження багатокривошипних машин	453
13.8. Віброзахист механізмів машин	456
Запитання та завдання для самоконтролю	460

ЧАСТИНА IV. ОСНОВИ СИНТЕЗУ МЕХАНІЗМІВ

Розділ 14. Синтез важільних механізмів	461
14.1. Загальні етапи синтезу механізмів	461
14.2. Вимоги при проєктуванні механізмів і машин	463
14.3. Синтез плоских важільних механізмів	465
14.4. Структурний синтез механізмів	467
14.5. Параметричний синтез механізмів	469
14.6. Умова існування кривошипа в чотириланкових механізмах	471
14.7. Коефіцієнт зміни середньої швидкості	475
14.8. Синтез чотириланкового механізму за коефіцієнтом зміни середньої швидкості	477
14.9. Синтез механізмів за положенням його ланок	479
14.10. Синтез механізму за його геометричними параметрами	481

14.11. Синтез механізму за заданим законом руху вихідної ланки	481
14.12. Синтез механізмів за заданою траєкторією руху	483
Запитання та завдання для самоконтролю	487
Розділ 15. Теорія зубчастих зачеплень	488
15.1. Основна теорема теорії плоского зачеплення	488
15.2. Евольвента кола, її властивості та рівняння	491
15.3. Геометрія стандартного евольвентного зубчастого зачеплення	494
15.4. Поняття про рейкове зачеплення	498
15.5. Методи виготовлення зубчастих коліс	499
15.6. Вихідний контур зубчастої рейки	501
15.7. Поняття про нульові, додатні та від'ємні зубчасті колеса та механізми	503
15.8. Підрізання та загострення зубів	506
15.9. Коефіцієнт перекриття	508
15.10. Ковзання профілів зубів	510
15.11. Підбір чисел зубів планетарних передач	512
15.12. Вибір коефіцієнта зміщення	516
15.13. Розрахунки основних параметрів нерівнозміщених евольвентних зачеплень	518
15.14. Особливості внутрішнього евольвентного зачеплення	522
Запитання та завдання для самоконтролю	524
Розділ 16. Основи розрахунку зубчастих передач	525
16.1. Основні механічні характеристики передач	525
16.2. Геометричні параметри колеса зубчастої передачі	528
16.3. Матеріали для виготовлення зубчастих коліс і види їх руйнування	532
16.4. Прямозуба циліндрична передача	534
16.5. Косозубі і шевронні циліндричні передачі	537
16.6. Конічні зубчасті передачі	542
16.7. Черв'ячні передачі	547
Запитання та завдання для самоконтролю	556
Розділ 17. Кулачкові механізми	557
17.1. Основні поняття і визначення	557
17.2. Метод обернення руху	562
17.3. Вибір закону руху штовхача	565
17.4. Кути тиску і передачі руху	568
17.5. Визначення мінімального радіуса кулачка	573
17.6. Побудова профілю кулачка	576

Запитання та завдання для самоконтролю.....	583
ЛІТЕРАТУРА	584
ДОДАТКИ	587

ПЕРЕДМОВА

Сучасні вимоги до виробництва і технологій потребують високої кваліфікації майбутнього спеціаліста із фахових та загальнотехнічних дисциплін, які в комплексі складають загальну базу його технічної грамотності і ерудованості.

Сьогодні треба вміти самостійно реагувати на питання, які пов'язані з використанням передового досвіду експлуатації технічних засобів, новітніх технологій, бути здатними приймати вірні рішення і мати чіткі уявлення по загальним технічним проблемам.

За цільовим призначенням теорія механізмів і машин готує студентів до розв'язування інженерних задач аналізу та проектування схем механізмів і машин, а також до вивчення наступних загальнотехнічних і профілюючих дисциплін: деталей машин і підйомно-транспортних пристроїв, тракторів, сільськогосподарських машин.

На відміну від спеціальних інженерних дисциплін, які вивчають конкретні види машин різних галузей, теорія механізмів і машин розглядає в першу чергу загальні питання дослідження та проектування механізмів незалежно від галузі застосування, розкриває загальні основи будови, кінематики та динаміки, які використовуються при вивченні конкретних механізмів і машин.

Підручник «Теорія механізмів і машин» написаний на основі досвіду викладання на кафедрі механіки дисципліни «Теорія механізмів і машин» Національного університету біоресурсів і природокористування України протягом ряду років.

Підручник призначений для студентів ОС “Бакалавр” спеціальності 208 “Агроінженерія” у закладах вищої освіти. У ньому викладені основні розділи курсу теорії механізмів і машин згідно з програмою навчальної дисципліни для закладів вищої освіти.

Після вивчення цього матеріалу студент повинен *знати*:

- терміни, характерні для різних розділів теорії механізмів і машин;
- основні види механізмів і їх структурну класифікацію;
- методи кінематичного і динамічного аналізу та синтезу механізмів;
- динаміку машин і методи регулювання руху машин.

Студент повинен *вміти* застосовувати основні положення теорії механізмів і машин в розрахунках і при проектуванні

сіськогосподарських машин та інших технічних об'єктів:

- правильно вибирати і розробляти алгоритми аналізу структурних і кінематичних схем із визначенням параметрів руху;
- проектувати і конструювати типові схеми машин;
- вибирати критерії якості роботи, формулювати задачі синтезу з урахуванням конкретних умов роботи;
- підбирати довідникову літературу, стандарти, а також прототипи конструкцій при проектуванні.

Частина наданого матеріалу призначена для самостійного опрацювання.

В кінці кожного розділу наведені запитання і завдання для самоперевірки та закріплення знань.

Підручник може бути корисний також студентам і викладачам у закладах вищої освіти II — IV рівнів акредитації та інженерам технічних спеціальностей сільськогосподарського виробництва.

Над підручником працював колектив авторів: Булгаков В.М. (передмова, частина I), Черниш О.М. (передмова, частина I, II, III і IV), Адамчук В.В. (передмова, частина I), Березовий М.Г. (передмова, частина I, II, III і IV), Яременко В.В. (передмова, частина I, II, III і IV).

ВСТУП

Теорія механізмів і машин (ТММ) – наука, яка вивчає загальні методи аналізу та синтезу механізмів і машин.

Методи аналізу – це методи дослідження будови механізмів (аналіз структури механізму), а також кінематичний і динамічний аналіз механізмів.

Методи синтезу – це методи проектування схем механізмів із заданими характеристиками і робочими параметрами.

Тому в теорії механізмів і машин існують задачі аналізу і задачі синтезу механізмів і машин.

До таких задач відносяться:

- розробка загальних методів дослідження структури, геометрії, кінематики і динаміки типових механізмів та їх схем;
- розробка методів регулювання періодичних і неперіодичних коливань швидкості головного валу машинного агрегату;
- розробка способів зменшення динамічних навантажень механізмів і машин;
- розробка загальних методів проектування схем механізмів, машин-автоматів, роботів і маніпуляторів.

У цілому теорія механізмів і машин являється теоретичною і науковою основою дослідження та розвитку сучасного механічного устаткування і є важливою складовою комплексу загальнотехнічних дисциплін.

Користуючись законами і принципами, що вивчаються у ТММ, можуть бути розроблені машини, механічне устаткування, автоматизовані і роботизовані лінії високої ефективності, економічності і конкурентоздатності.

Теоретичний курс ТММ базується на знаннях з курсів з фізики, вищої та прикладної математики, теоретичної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки.

Уміння і знання, що отримані при вивченні курсу ТММ, є основою для подальшого вивчення таких дисциплін як «Деталі машин», «Трактори і автомобілі», «Сільськогосподарські і транспортні машини».

Принциповою відмінністю дисципліни «Теорія механізмів і машин» від інших технічних дисциплін, є те, що ТММ розглядає узагальнені питання дослідження, аналізу і синтезу механізмів незалежно від галузі їх

застосування.

Наприклад, типовий кривошипно-повзунний механізм може використовуватися у двигунах внутрішнього згорання, насосах, поршневих компресорах і т.ін.

У кожному варіанті в залежності від функціонального призначення цього механізму потрібно враховувати специфічні вимоги, які диктуються умовами його використання.

Разом з цим структура, геометрія, кінематичні і динамічні параметри даного механізму підпорядковані однаковою закономірностям у всіх випадках його застосування.

Отже, в теорії механізмів і машин розглядають не конкретні механізми або машини, а їх абстрактні узагальнені моделі.

Такі моделі механізмів і машин можуть бути представлені у вигляді структурних, кінематичних або силових схем.

Таким чином, в теорії механізмів і машин вивчають методи аналізу і синтезу узагальнених для даного виду механізму властивостей незалежно від їх призначення і застосування.

В першій частині «Основні поняття і основи структурного аналізу» надається основні поняття і визначення предмету, історія його розвитку, вивчаються основні елементи, з яких складається механізм, надається класифікація кінематичних пар і структурна класифікація механізмів.

В другій частині «Основи кінематичного аналізу важільних механізмів» вивчаються графічні, графоаналітичні, а також аналітичні методи кінематичного дослідження механізмів.

В третій частині «Динаміка механізмів і машин» вивчаються питання динамічного аналізу механізмів, розглядаються сили тертя і знос, нерівномірність і регулювання руху, а також проблеми зрівноважування і віброзахисту.

В четвертій частині «Синтез механізмів» вивчаються методи за допомогою яких проектуються механізми.

Таким чином, теорія механізмів і машин разом з іншими дисциплінами складає основу інженерної освіти і надає можливість досліджувати і створювати схеми механізмів для подальшого проектування машин, приладів, автоматизованих ліній, роботів, маніпуляторів у відповідності до сучасних вимог виробництва.