



Булгаків 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.
e-mail: bulgakov@nubip.edu.ua



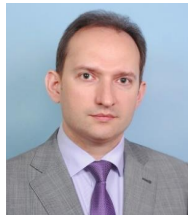
Головач Іван Володимирович

Професор кафедри механіки НУБіП України, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України. Науковий напрямок – дослідження динаміки механізмів та машинно-тракторних агрегатів з метою раціоналізації структурних і динамічних параметрів машин; розробка теоретичних основ вібраційних процесів та робочих органів вібраційної дії. Є автором і співавтором понад 350 друкованих праць, з них 62 наукові статті в іноземних виданнях, 5 монографій, 36 патентів, 4 підручники.
e-mail: golovach@nubip.edu.ua



Черниш Олег Миколайович

Доцент кафедри механіки НУБіП України, кандидат технічних наук, доцент. Наукові інтереси пов'язані із моделюванням прикладних задач механіки, довговічністю і живучістю конструкцій, вібраційними процесами та переробкою продукції в агропромисловому виробництві. Є автором і співавтором понад 140 друкованих праць, у тому числі 5-и монографій, 17 підручників і навчальних посібників, 18 авторських свідоцтв і патентів.
e-mail: chernysh@nubip.edu.ua



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, в тому числі 32 наукових статей в іноземних виданнях, 53 патентів на винаходи, 6 навчальних посібників і 5 підручників.
e-mail: berezoviy@nubip.edu.ua



Яременко Вадим Володимирович

Доцент кафедри механіки НУБіП України, кандидат технічних наук, доцент. 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: yaremenko@nubip.edu.ua

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
ПЕРЕДМОВА	10
ВСТУП	11
ЧАСТИНА I. ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ СТВОРЕННЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІБРАЦІЙНОЇ ДІЇ	13
Тема 1. Принципи створення технічних систем вібраційної дії	13
1.1. Поняття машин та обладнання лісового комплексу як технічних систем.....	13
1.2. Аналіз виробничих умов машин та обладнання лісового комплексу	18
1.3. Аналіз процесу складання технологічних комплексів лісових машин та обладнання.....	21
1.4. Основні відомості про вібрації і коливання.....	24
1.5. Етапи створення вібраційних технічних систем.....	27
1.6. Характеристики якості та надійності	29
1.7. Характер і параметри коливань робочих органів вібраційних систем.....	32
1.8. Динамічні схеми і засоби генерування змушених коливань.....	33
1.9. Приклади застосування вібраційних технологій	37
1.10. Загальні питання проектування технічних систем вібраційного принципу дії	44
Запитання для самоконтролю	49
ЧАСТИНА II. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ І ДИНАМІКА МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	50
Тема 2. Коливальний рух матеріальної точки	50
2.1. Поняття коливального руху	50
2.2. Основні види коливань матеріальної точки.....	52
2.3. Кінематика гармонійних коливань	53
2.4. Динаміка коливань. Вільні або власні коливання матеріальної точки	55
2.5. Згасальні коливання матеріальної точки	72
2.6. Змушені коливання матеріальної точки без опору	86
2.7. Явище механічного резонансу.....	95

2.8. Змушені коливання точки при наявності в'язкого опору	95
Запитання для самоконтролю	107

Тема 3. Узагальнені поняття руху в коливальній системі..... 109

3.1. Узагальнене представлення вільних гармонійних коливань твердих тіл	109
3.2. Метод векторних діаграм.....	118
3.3. Додавання взаємно перпендикулярних коливань.....	120
3.4. Фазовий портрет коливальної системи	124
3.5. Негармонійні коливання математичного маятника.....	130
3.6. Вільні згасальні коливання в дисипативних системах із в'язким опором	135
3.7. Вільні згасальні коливання в дисипативних системах із сухим тертям	141
3.8. Змушені коливання механічних систем	144
3.9. Змушені коливання без опору під дією гармонійної збудувальної сили	146
3.10. Змушені коливання під дією періодичної збудувальної сили при наявності в'язкого опору	148
3.11. Характерні режими змушених коливань із в'язким опором	151
3.12. Метод комплексних амплітуд при дослідженні змушених коливань із довільною частотою	155
3.13. Балістичний режим змушених коливань.....	162
3.14. Процес встановлення змушених коливань.....	163
3.15. Графічне моделювання коливальних процесів	165
Запитання для самоконтролю	182

Тема 4. Основні положення аналітичної механіки 184

4.1. В'язі та їх класифікація	184
4.2. Узагальнені координати та кінематичні рівняння руху	186
4.3. Можливі або віртуальні переміщення.....	188
4.4. Число ступенів вільності системи	188
4.5. Віртуальні швидкості при нестационарних в'язях	189
4.6. Віртуальна робота. Ознака ідеальності в'язей. Принцип можливих або віртуальних переміщень.....	189
4.7. Узагальнені сили	191
Запитання для самоконтролю	194

Тема 5. Рівняння рівноваги і руху у формі Лагранжа 195

5.1. Рівняння рівноваги в узагальнених координатах	195
5.2. Поняття стійкості стану рівноваги	195

5.3. Загальне рівняння динаміки.....	196
5.4. Рівняння Лагранжа другого роду в узагальнених координатах	197
5.5. Рівняння Лагранжа другого роду у випадку дії потенціальних сил	199
Запитання для самоконтролю	206
Тема 6. Канонічні рівняння динаміки.....	207
6.1. Рівняння Гамільтона для консервативних систем	207
6.2. Властивості функцій Гамільтона	208
6.3. Канонічні рівняння для неконсервативних систем	209
6.4. Циклічні координати. Перші інтеграли канонічних рівнянь	209
6.5. Дужки Пуассона. Теорема Пуассона-Якобі	211
Запитання для самоконтролю	222
Тема 7. Малі коливання механічної системи.	
Основи теорії стійкості руху та рівноваги	223
7.1. Умови стійкості положення рівноваги по Ляпунову.....	223
7.2. Малі коливання механічної системи відносно положення стійкої рівноваги	226
7.3. Поняття стійкості руху механічної системи	230
7.4. Визначення стійкості руху	231
7.5. Диференціальні рівняння збуреного руху.....	232
7.6. Канонічні рівняння збуреного руху	233
7.7. Стійкість руху по Ляпунову.....	234
7.8. Методи розв'язання задач стійкості руху	235
7.9. Стійкість руху по першому наближенню (перший метод Ляпунова).....	238
7.10. Другий метод Ляпунова	248
Запитання для самоконтролю	265
ЧАСТИНА III. ТЕОРІЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ФРИКЦІЙНОЮ ВЗАЄМОДІЄЮ	266
Тема 8. Фізичні основи вібраційних процесів із фрикційним тертям	266
8.1. Ефект вібраційного переміщення	266
8.2. Роль асиметрії у виникненні ефекту вібраційного переміщення	276
8.3. Ефективні коефіцієнти сухого тертя при вібраційному переміщенні	278

8.4. Технологічні ефекти від вібраційного впливу в системах із тертям	282
Запитання для самоконтролю	284

Тема 9. Теорія руху частинки по віброуючій шорсткій поверхні 285

9.1. Модель руху частинки по віброуючій шорсткій поверхні	285
9.2. Диференціальне рівняння руху частинки по віброуючому лотку	286
9.3. Аналіз розв'язку задачі руху частинки по віброуючій шорсткій поверхні	292
9.4. Закономірності руху частинки при некулонівському терті	300
Запитання для самоконтролю	306

ЧАСТИНА IV. ТЕОРІЯ ВІБРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ВИЛУЧЕННЯ ТІЛ, ЩО ЗАКРІПЛЕНІ У ҐРУНТІ 307

Тема 10. Параметри вібраційних процесів вилучення тіл, що закріплені у ґрунті 307

10.1. Повздовжні коливання пружного тіла, що закріплено у ґрунті	307
10.2. Диференціальне рівняння повздовжніх коливань тіла, що знаходиться у ґрунті	310
10.3. Знаходження власних форм і власних частот повздовжніх коливань тіла у ґрунті	317
10.4. Змушені повздовжні коливання тіла у ґрунті	330
10.5. Вільні поперечні коливання тіла у ґрунті	342
10.6. Змушені поперечні коливання тіла у ґрунті	357
Запитання для самоконтролю	371

ЧАСТИНА V. ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКУ МАШИН ВІБРАЦІЙНОЇ ДІЇ 372

Тема 11. Принципи розрахунку безударних вібраційних машин 372

11.1. Розрахунок параметрів вібраційних машин	372
11.2. Забезпечення потрібного розмаху вібрації	372
11.3. Вибір варіанту встановлення вібропривода на одному з інерційних елементів машини	383
11.4. Потужність, яка потрібна для підтримки вібрації.	387
11.5. Еквівалентні значення параметрів системи	390
Запитання для самоконтролю	394

Тема 12. Принципи розрахунку ударних вібраційних машин	395
12.1. Розрахунок систем абсолютно твердих тіл	395
12.2. Модель твердого тіла із місцевими деформаціями	397
12.3. Модель багатомасової системи.....	406
12.4. Модель із розподіленими масами і заданою формою деформованого стану	408
12.5. Модель із розподіленими параметрами	410
12.6. Алгоритми розрахунку ударно-вібраційних машин.....	413
Запитання для самоконтролю	416
 ЧАСТИНА VI. ЗАСОБИ ГЕНЕРУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ ТА ІМПУЛЬСІВ	
Тема 13. Приводи вібраційних машин	417
13.1. Класифікація вібраційних приводів	417
13.2. Механічні вібраційні приводи	419
13.3. Гідравлічні і пневматичні вібраційні приводи.....	426
13.4. Електрогідравлічні вібраційні приводи.....	440
13.5. Автоматичне налаштування вібраційних приводів	444
Запитання для самоконтролю	448
 ЧАСТИНА VII. КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ	
Тема 14. Вібраційна техніка для обробки ґрунту	449
14.1. Вібрування кротово-дренажного плуга.....	449
14.2. Вібрування причіпного канавокопача	450
14.3. Вібрування струга.....	456
14.4. Вібрування розрихлювача для кам'янистих ґрунтів	458
14.5. Вібрування плугів.....	460
14.6. Вібрування захвату для корчування пнів	472
14.7. Вібрування пристроїв для ущільнення ґрунтів	475
14.8. Ефективність ущільнення ґрунтів віброкотками	476
Запитання для самоконтролю	493
Тема 15. Вібраційна техніка для збиральних та післязбиральних процесів	494
15.1. Вібраційні машини і механізми для струшування плодів з дерев	494
15.2. Вібрування машин для внесення добрив	500
15.3. Вібрування при подрібненні і очищенні	504

15.4. Вібрування при транспортуванні	511
15.5. Вібрування сушильних пристроїв	512
Запитання для самоконтролю	514

Тема 16. Вібраційна техніка для ремонту і обробки деталей

16.1. Мийка деталей	515
16.2. Відновлення оливних фільтрів	517
16.3. Зварювання деталей	518
16.4. Притирання клапанів	519
16.5. Шліфування циліндрів	520
16.6. Відновлення розмірів деталей при дії вібраційного навантаження	522
Запитання для самоконтролю	524

ЧАСТИНА VIII. МІЦНІСТЬ І ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ ВІБРАЦІЙНИХ СИСТЕМ

525

Тема 17. Критерії міцності і довговічності елементів вібраційних систем

525

17.1. Коефіцієнт запасу міцності при циклічному навантаженні	526
17.2. Коефіцієнт запасу міцності при випадковому характері циклічного навантаження	531
17.3. Міцність і довговічність елементів вібраційних систем з позицій тріщиностійкості	536
17.4. Основи віброзахисту технічних систем	544
Запитання для самоконтролю	548

ЛІТЕРАТУРА

549

ДОДАТКИ

551

ПЕРЕДМОВА

В навчальному посібнику викладено основи курсу "Проектування технічних систем обладнання лісового комплексу (вібраційної дії)", який викладається студентам освітнього ступеня магістр спеціальності "Галузеве машинобудування" освітньої програми "Обладнання лісового комплексу". Тут розглянуті загальні принципи створення технічних систем вібраційної дії, методи і принципи аналітичного описання і розрахунку коливального руху, теоретичні дослідження вібраційних процесів, розрахунки їх основних параметрів, засоби генерування механічних коливань та імпульсів, наведені конструкційні особливості вібраційних технічних систем і пристроїв та основи розрахунків на міцність і довговічність.

Крім теоретичних основ в навчальному посібнику надаються приклади розв'язування задач розрахунку коливальних рухів і вібрацій та визначення механічного стану і кінематичних параметрів механічних систем під дією зовнішніх вібраційних навантажень.

В кінці кожної теми навчального посібника наведені запитання для самоперевірки і закріплення отриманих знань.

Навчальний посібник призначений для студентів освітнього ступеня магістр вищих навчальних закладів, але також може бути корисним аспірантам, викладачам та інженерам технічних спеціальностей, що працюють у галузі вібраційних технологій.

Над підручником працював колектив авторів: В.М. Булгаков (тема 1.1-1.5, тема 4.1-4.7, тема 10.1-10.6), І.В. Головач (тема 1.6-1.10, тема 8.1-8.4, тема 9.1-9.4), О.М. Черниш (тема 2.1-2.4, тема 3.1-3.8, тема 7.6-7.10, тема 14.1-14.8, тема 15.1-15.5), М.Г. Березовий (Вступ, тема 2.5-2.8, тема 3.9-3.15, тема 7.1-7.5, тема 11.1-11.5, тема 17.1-17.4), В.В. Яременко (тема 5.1-5.5, тема 6.1-6.5, тема 12.1-12.6, тема 13.1-13.5, тема 16.1-16.6).

ВСТУП

Лісогосподарське виробництво – специфічна галузь, що має свої особливості, які істотно позначаються на вимогах до машин і обладнання лісового комплексу.

Разом з цим сучасні технології ведення лісового господарства на сьогоднішній день передбачають використання нових машинних технічних систем і технологічних комплексів, які спрямовані на підвищення продуктивності та якості. Тому застосування нової високоєфективної техніки і обладнання лісового комплексу при зменшенні металоємності та енерговитрат є однією з головних задач галузі.

Проте для розвитку і застосуванні традиційних машин у цьому напрямку існують обмеження щодо їх продуктивності і ефективності. Отже для подальшого технічного розвитку цієї галузі необхідно звертатися до нових принципів і технологій, у тому числі і вібраційних.

Вібраційна техніка радикальним чином відрізняється від традиційних прототипів машин.

Часто прояви вібрації значно складніші і ширші, ніж це здається на перший погляд. З одного боку, небажані, некеровані прояви вібрації можуть стати причиною аварій і катастроф та заподіяти шкоду здоров'ю людини. З іншого боку, застосування вібраційних методів у різних сферах людської діяльності відкриває великі перспективи прискорення технічного прогресу на якісно новій основі.

Теоретичні і експериментальні дослідження вібраційних процесів дозволили вже зараз накопичити і узагальнити великий досвід вивчення, описання і реалізації наукових досягнень цієї галузі. Завдяки цьому розробляються нові технології у лісового господарстві, нові конструкції механізмів, машин та їх робочі органи.

Застосування вібраційної техніки і обладнання дає можливість досягти суттєвої інтенсифікації існуючих технологічних процесів і розробити нові способи обробки, знизити енерговитрати і покращити якість, а також досягти нового рівня механізації і автоматизації.

Одночасно із створенням нових зразків техніки, необхідно вивчати можливості ефективного використання вібраційних технологій на ремонтних підприємствах лісогосподарських машин, та іншого обладнання.

Таким чином, освоєння і використання вібраційної техніки під час розробки, експлуатації та ремонту вже зараз дають позитивні результати.

У цілому застосування вібраційних принципів і технологій в лісгосподарській галузі дозволяють: підвищити коефіцієнт корисної дії багатьох лісових машин і обладнання; покращити якість багатьох виробничих процесів, обслуговування і ремонту техніки; механізувати і автоматизувати технологічні процеси, що досі не вдавалося на базі існуючих технологій.

Подальший розвиток цього напрямку сприяє розв'язанню проблем екологічно чистих виробництв і підвищення продуктивності.

Навчальний посібник знайомить студентів із теоретичними основами дії технічних систем вібраційного принципу дії, принциповими схемами вібраційних машин та основами їх конструювання.

При цьому принцип застосування вібраційних процесів базується на тому, що робочому органу машини надається збурений коливальний рух, що необхідно для здійснення або інтенсифікації робочого процесу.

Отже при розв'язанні поставлених завдань необхідно знати основні кінематики і динаміки коливального руху, основи аналітичної механіки, рівняння рівноваги та руху у формі Лагранжа, канонічні рівняння динаміки, малі коливання механічних систем.

У навчальному посібнику також наведені деякі експериментальні данні і практичні рекомендації.

Для засвоєння і закріплення знань наведені приклади розв'язання теоретичних задач, принципові схеми і конструкції машин та пристроїв вібраційної дії.

У кінці кожної теми навчального посібника надані запитання для самоконтролю і закріплення знань.