

ЗМІСТ

Передмова	21
Основні технічні терміни	23
Основні умовні позначення	27

Вступ. ОЗНАЙОМЛЕННЯ З ВІБРАЦІЙНИМИ МАШИНАМИ ТА ПІДХОДАМИ ДО ЇХ СТРУКТУРНОГО І МАТЕМАТИЧНОГО ВІДОБРАЖЕННЯ

.....	33
§ В:1.1. Природа зародження коливань у механіці	34
Приклад В:1.1. Встановлення власної частоти коливань гойдалки	37
§ В:1.2. Поняття вібрації. Її особливість порівняно з коливаннями	42
§ В:1.3. Структура вібраційної машини та її основні вузли	46
§ В:1.4. Формування розрахункових схем вібраційних машин	51
В:1.4.1. Зведення вібраційних машин до коливальних систем	51
В:1.4.2. Відображення сил, що діють на коливальну масу	54
В:1.4.2.1. Сила збурення	54
В:1.4.2.2. Сила пружності (відновлювальна сила)	55
В:1.4.2.3. Сила опору (дисипативна сила)	56
В:1.4.2.4. Сила ваги та сила статичної деформації	57
§ В:1.5. Диференціальне рівняння руху вібраційної машини як основа її математичної моделі	59
В:1.5.1. Використання другого закону Ньютона	60
В:1.5.2. Використання принципу д'Аламбера. Сила інерції	62
В:1.5.2.1. Природа виникнення сили інерції	63
В:1.5.2.2. Обґрунтування відцентрової сили у дебалансних вібро-збуджувачах	64
В:1.5.2.3. Формування елементарних залежностей для коливальних систем з інерційним приводом	66
В:1.5.2.4. Елементарне пояснення виникнення резонансу та зсуву фаз у коливальній системі. Поняття власної частоти	67
В:1.5.3. Використання рівняння Лагранжа II роду	71

Частина 1. ОДНОМАСОВІ ВІБРАЦІЙНІ МАШИНИ

.....	75
Розділ 1:1. Прикладна теорія одномасових коливальних систем	76
§ 1:1.1. Формування розв'язку диференціального рівняння руху системи	76
§ 1:1.2. Аналіз вимушених коливань системи з формуванням аналітичних залежностей, що встановлюють її параметри	82
1:1.2.1. Випадок, коли амплітудне значення сили збурення не залежить від жодного з параметрів системи	82
1:1.2.2. Випадок, коли амплітудне значення сили збурення залежить від колової частоти вимушених коливань	90
Приклад 1:1.1. Розрахунок основних параметрів дебалансної вібраційної машини	94
Приклад 1:1.2. Встановлення траєкторії руху контейнера у вібраційній машині об'ємної обробки. Розрахунок підвіски	102
Приклад 1:1.3. Розрахунок вібраційних транспортних засобів	106
1:1.2.3. Випадок, коли збурення маси спричинене рухом іншої	115

Приклад 1:1.4. Розрахунок резонансної системи з приведенням в рух від кривошипно-шатунного механізму	122
§ 1:1.3. Встановлення силових параметрів коливальної системи	125
Приклад 1:1.5. Розрахунок споживаної потужності вібромашин	129
§ 1:1.4. Встановлення моменту опору руху дебаланса	133
Приклад 1:1.6. Визначення моменту опору під час обертання дебалансів у вібростолі	136
Розділ 1:2. Проектування одномасових вібраційних машин	137
§ 1:2.1. Створення вібраційної установки з дебалансним приводом, призначеної для виготовлення плит перекриття	137
1:2.1.1. Обґрунтування параметрів та розроблення конструкції	137
1:2.1.2. Моделювання роботи вібраційної установки	151
1:3. Узагальнення матеріалу першої частини посібника	159
Частина 2. ДВОМАСОВІ ВІБРАЦІЙНІ МАШИНИ	165
Розділ 2:1. Прикладна теорія двомасових коливальних систем	166
§ 2:1.1. Причини виникнення двомасових коливальних систем. Їхні переваги та недоліки	166
Приклад 2:1.1. Порівняння споживаної потужності резонансної та нерезонансної вібраційних машин	172
§ 2:1.2. Особливості приведення в рух коливальної системи від елек- тромагнітних вібробудувачів. Поняття тягової сили	174
Приклад 2:1.2. Визначення амплітудного значення тягової сили	178
Приклад 2:1.3. Встановлення закону зміни тягової сили	183
§ 2:1.3. Формування та аналіз двомасових коливальних систем	183
2:1.3.1. Математична модель системи з електромагнітним приводом	184
2:1.3.2. Аналіз двомасової резонансної системи з електромагнітним приводом та формування її основних параметрів	189
2:1.3.2.1. Випадок, коли нехтуємо лише коефіцієнтами в'язкого опору	189
Приклад 2:1.4. Встановлення частотних та жорсткісних параметрів резонансної двомасової системи	196
2:1.3.2.2. Випадок, коли нехтуємо жорсткістю віброізоляторів та коефіцієнтами в'язкого опору	199
2:1.3.2.3. Випадок, коли нехтуємо лише жорсткістю віброізолято- рів	200
Приклад 2:1.5. Встановлення інерційно-жорсткісних та силових параметрів резонансного вібраційного живильника з електромагнітним приводом	203
§ 2:1.4. Аналіз двомасової резонансної системи з інерційним приво- дом та формування її основних параметрів	207
2:1.4.1. Випадок, коли нехтуємо лише коефіцієнтами в'язкого опору	208
2:1.4.2. Випадок, коли нехтуємо жорсткістю віброізоляторів та кое- фіцієнтами в'язкого опору	211
2:1.4.3. Випадок, коли нехтуємо лише жорсткістю віброізоляторів	214
Приклад 2:1.6. Встановлення інерційно-жорсткісних та силових параметрів у системі з інерційним приводом	215
§ 2:1.5. Аналіз двомасової резонансної системи з кривошипно-шатун- ним механізмом. Формування її основних параметрів	218

2:1.5.1. Випадок, коли нехтуємо лише коефіцієнтами в'язкого опору	218
2:1.5.2. Випадок, коли нехтуємо коефіцієнтами в'язкого опору та жорсткістю віброізоляторів	221
2:1.5.3. Випадок, коли нехтуємо лише жорсткістю віброізоляторів	223
§ 2:1.6. Аналіз двомасової резонансної системи з кривошипно-шатунним механізмом та примусовим приведенням у рух коливальних мас	225
§ 2:1.7. Методика врахування частки маси середовища завантаження робочого органа, що умовно приєднується до нього	226
Приклад 2:1.7. Встановлення частки маси середовища завантаження, умовно приєднаного до робочого органа	227
§ 2:1.8. Встановлення оптимальних параметрів системи, що усувають вплив маси завантаження на робочий орган	228
Приклад 2:1.8. Встановлення параметрів системи, що усувають вплив завантаження на робочий орган	230
Розділ 2:2. Пружні вузли вібраційних машин	231
§ 2:2.1. Загальні поняття про пружні вузли вібраційних машин	231
§ 2:2.2. Методика розрахунку пружних елементів, що забезпечують простий рух робочого органа	234
2:2.2.1. Пружні елементи з простим поперечним перерізом	234
Приклад 2:2.1. Розрахунок конструктивних параметрів резонансного пружного вузла	239
2:2.2.2. Особливості пружних елементів круглого поперечного перерізу	242
2:2.2.3. Поняття рівномісних пружних елементів	245
§ 2:2.3. Методика розрахунку узагальненого резонансного пружного вузла, що забезпечує напрямлений рух робочого органа	250
2:2.3.1. Формування структури узагальненого резонансного пружного вузла	250
2:2.3.2. Методика розрахунку гіперболоїдного торсіона	255
2:2.3.3. Узагальнена формула розрахунку на жорсткість	261
2:2.3.4. Узагальнена формула розрахунку на міцність	266
2:2.3.5. Рекомендації щодо вибору конструктивних параметрів резонансних пружних вузлів для забезпечення простого руху робочого органа	272
2:2.3.5.1. Пружні вузли для напрямлених коливань	272
Приклад 2:2.2. Розрахунок пружного вузла вібромашини	273
2:2.3.5.2. Пружні вузли для обертальних (кутових) коливань на основі гіперболоїдного торсіона	276
2:2.3.5.3. Комбіновані пружні вузли для гвинтоподібних коливань – поєднання гіперболоїдного та центрального циліндричного торсіонів	276
Приклад 2:2.3. Розрахунок комбінованого пружного вузла	279
§ 2:2.4. Основні підходи до розрахунку віброізоляторів	282
Приклад 2:2.4. Розрахунок віброізоляційного пружного вузла на основі плоских елементів	283
§ 2:2.5. Методика розрахунку плоских ґратчастих пружних елементів, що забезпечують еліпсоподібні коливальні рухи	284

Приклад 2:2.5. Розрахунок пружного вузла на основі плоскої ґрат- частої пружини	287
Розділ 2:3. Електромагнітні віброзбуджувачі	289
§2:3.1. Методика спрощеного розрахунку електромагнітного вібро- збуджувача за амплітудним значенням тягової сили	291
2:3.1.1. Розрахунок амплітудного значення тягової сили	292
2:3.1.2. Розрахунок параметрів магнітопроводу	293
2:3.1.3. Розрахунок котушки віброзбуджувача	296
2:3.1.4. Програма розрахунку віброзбуджувача	298
Приклад 2:3.1. Розрахунок електромагнітного віброзбуджувача	300
Розділ 2:4. Елементи теорії вібраційних транспортних засобів	303
§ 2:4.1. Методика розрахунку вібраційних бункерних живильників з електромагнітним приводом	303
Приклад 2:4.1. Розрахунок вібраційного бункерного живильника	304
2:4.1.1. Обґрунтування параметрів чаш бункерного живильника	306
2:4.1.1.1. Встановлення геометричних параметрів чаш	306
2:4.1.1.2. Встановлення кінематичних параметрів руху чаш	309
2:4.1.2. Встановлення інерційно-жорсткісних параметрів коливаль- ної системи на основі гіперболоїдного торсіона	314
2:4.1.2.1. Вирази для жорсткості пружного вузла та зведених мас	314
2:4.1.2.2. Вирази для амплітудних значень зусиль збурення	317
2:4.1.2.3. Уточнені вирази для встановлення зведеної маси та моменту інерції	318
Приклад 2:4.2. Розрахунок двомасового вібраційного бункерного живильника з напрямленими коливаннями	329
§ 2:4.2. Окреслення методики розрахунку резонансних вібраційних транспортерів	335
Приклад 2:4.3. Розрахунок вібротранспортера з напрямленими коливаннями робочого органа, віброізолюваного через умовно нерухомі стійки	335
Приклад 2:4.4. Розрахунок вібротранспортера з напрямленими коливаннями робочого органа, віброізолюваного через умовно нерухомі точки на пружних елементах	342
Приклад 2:4.5. Особливості розрахунку електромагнітного вібраційного транспортера з незалежними коливаннями робочого органа	345
Розділ 2:5. Проектування двомасових вібраційних машин	349
§ 2:5.1. Синтез конструкції та дослідження роботи двомасового резо- нансного вібраційного стола з електромагнітним приводом	349
§ 2:5.2. Розроблення вібраційного стола з інерційним приводом	369
2:5.2.1. Експериментальний макет вібростола, резонансні режими якого реалізуються з використанням ефекту Зоммерфельда	369
2:5.2.2. Зразок для виробництва	383
§ 2:5.3. Розроблення та моделювання роботи вібраційного стола экс- центриково-маятникового типу	389
§ 2:5.4. Динаміка роботи вібраційної притиральної машини з кутови- ми коливаннями робочого органа	413
2:6. Узагальнення матеріалу другої частини посібника	421

Частина 3. ТРИМАСОВІ ВІБРАЦІЙНІ МАШИНИ	423
Розділ 3:1. Прикладна теорія тримасових коливальних систем	424
§ 3:1.1. Тримасові коливальні системи з динамічним гасником, реалізовані на основі електромагнітного приводу	424
Приклад 3:1.1. Розрахунок вібраційного дозатора, реалізованого за тримасовою схемою з динамічним гасником	430
Приклад 3:1.2. Порівняльний аналіз тримасової системи з динамічним гасником та двомасової, що приводяться в рух від кривошипно-шатунних механізмів	436
§ 3:1.2. Тримасові синфазні міжрезонансні коливальні системи	439
3:1.2.1. Міжрезонансні системи з електромагнітним приводом	439
3:1.2.1.1. Можливі шляхи підвищення ефективності функціонування тримасових коливальних систем	439
3:1.2.1.2. Аналітичне встановлення інерційно-жорсткісних параметрів системи з умов синфазного руху мас	442
Приклад 3:1.3. Розрахунок інерційно-жорсткісних параметрів міжрезонансної коливальної системи	445
Приклад 3:1.4. Порівняння характеристик тримасових міжрезонансних коливальних систем з класичними	448
3:1.2.1.3. Синтез спрощених коливальних систем. Встановлення ефекту “нульової жорсткості” пружного вузла	451
Приклад 3:1.5. Окреслення інерційно-жорсткісних та силових параметрів вібраційного сепаратора, реалізованого на ефекті “нульової жорсткості”	453
Приклад 3:1.6. Розроблення експериментального зразка вібраційного стола для ущільнення бетоносумішей	457
3:1.2.1.4. Встановлення підвищеного динамічного потенціалу в тримасових міжрезонансних системах	463
Приклад 3:1.7. Обґрунтування параметрів системи з підвищеною ефективністю функціонування (електромагнітний привод)	469
3:1.2.1.5. Фізика процесу досягнення високої ефективності функціонування тримасових міжрезонансних систем. Їх структурні особливості	471
3:1.2.1.6. Підхід до модернізації двомасового резонансного вібраційного технологічного обладнання на основі електромагнітного приводу	474
Приклад 3:1.8. Модернізація двомасових вібромашин з електромагнітним приводом	475
3:1.2.2. Міжрезонансні системи з інерційним приводом	478
Приклад 3:1.9. Обґрунтування параметрів системи з підвищеною ефективністю функціонування (інерційний привод)	481
3:1.2.2.1. Підхід до модернізації одно- та двомасового вібраційного технологічного обладнання на основі інерційного приводу	484
Приклад 3:1.10. Модернізація одномасової вібромашини з інерційним приводом	486
3:1.2.2.2. Особливості запуску вібраційного технологічного обладнання, реалізованого на основі тримасових міжрезонансних коливальних систем з інерційним приводом	488

3:1.2.3. Споживання потужності приводом вібраційного технологічного обладнання, реалізованого на основі тримасових міжрезонансних коливальних систем	489
Приклад 3:1.11. Порівняльний аналіз споживаних потужностей у приводах двомасових та тримасових міжрезонансних систем	489
3:1.2.4. Методика врахування частки маси завантаження у тримасових системах	491
3:1.2.5. Обґрунтування оптимальних параметрів тримасових систем, що усувають вплив маси завантаження на робочий орган	492
Приклад 3:1.12. Встановлення параметрів, що усувають вплив маси завантаження у тримасовій системі з електромагнітним приводом	495
§ 3:1.3. Поширення принципів синфазних коливань на замкнені тримасові міжрезонансні коливальні системи	500
3:1.3.1. Аналіз ефективності функціонування замкнених систем порівняно з розімкненими	505
Приклад 3:1.13. Встановлення параметрів замкненої міжрезонансної коливальної системи	509
§ 3:1.4. Тримасові дорезонансні системи з інерційним приводом	510
3:1.4.1. Синтез інерційно-жорсткісних параметрів	514
3:1.4.2. Обґрунтування найдоцільнішої комбінації жорсткостей	516
Приклад 3:1.14. Встановлення параметрів тримасової коливальної системи з дорезонансним налагодженням відносно другого піка	516
3:1.4.3. Встановлення підвищеної ефективності функціонування тримасової дорезонансної системи з інерційним приводом	519
3:1.4.4. Встановлення оптимальних параметрів тримасової вібромашини з умови забезпечення мінімального моменту збурення	521
Розділ 3:2. Проектування тримасових вібраційних машин	523
§ 3:2.1. Розроблення вібраційного стола, реалізованого на ефекті “нульової жорсткості”	523
§ 3:2.2. Модернізація вібраційного стола, реалізованого на ефекті “нульової жорсткості”, – розроблення високоефективного вібростола	533
§ 3:2.3. Розроблення на базі аероінерційного приводу тримасового високоефективного дорезонансного віброживильника	542
3:2.3.1. Формування параметрів коливальної системи	544
3:2.3.2. Формування математичної моделі	551
3:2.3.3. Аналіз руху дебаланса та коливальних мас	558
3:3. Узагальнення матеріалу третьої частини посібника	564
Підсумок	565
Додаток А. Зведена інформація щодо основних аналітичних залежностей, які встановлюють параметри коливальних систем	573
Додаток Б. Зведена інформація щодо власних частот деяких коливальних систем	591
Список рекомендованої літератури	605
Abstract	609