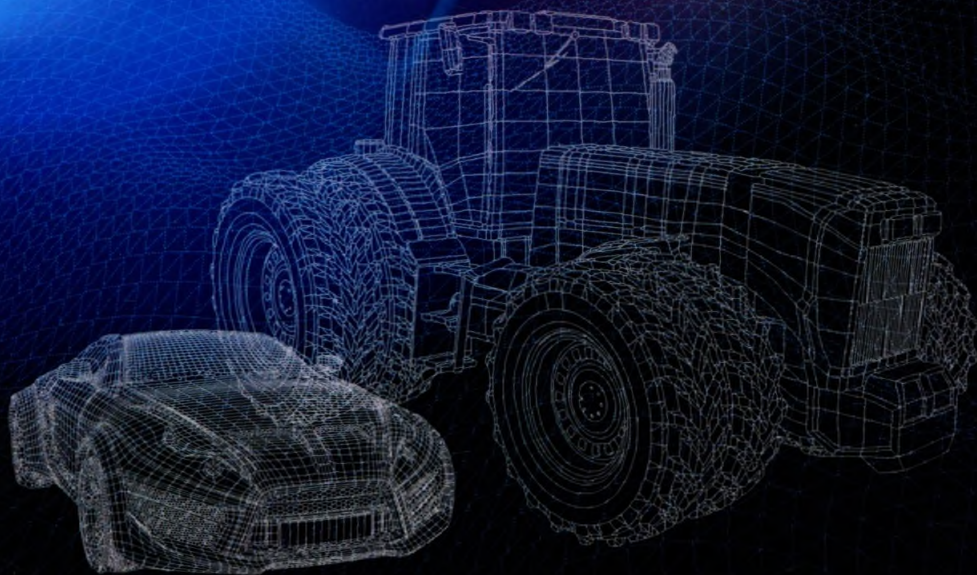


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

629.113  
К58

А.П. Кожушко

КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В  
АВТОМОБІЛЕ- ТА ТРАКТОРОБУДУВАННІ



Харків 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«Харківський політехнічний інститут»

КОЖУШКО Андрій Павлович

# **КОЛИВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ В АВТОМОБІЛЕ- ТА ТРАКТОРОБУДУВАННІ**

Навчальний посібник  
для студентів спеціальності «Галузеве машинобудування»

Рекомендовано Вченою радою НТУ «ХПІ»

Харків  
ФОП Панов А. М.  
2018

УДК 621.83.062.1

К 58

Рекомендовано Вченою радою Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» як навчальний посібник для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», протокол № 8 від 2 листопада 2018 р.

Р е ц е н з е н т и :

*Д. М. Клец*, д-р техн. наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Харківський національний автомобільно-дорожній університет

*В. Г. Кухтов*, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри міцності та надійності машин імені В. Я. Аніловича, Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

**Кожушко А. П.**

К 58 Коливання механічних систем в автомобіле- та тракторобудуванні: навчальний посібник / А.П. Кожушко. – Харків: ФОП Панов А.М. – 316 с.: іл. – На укр. мові.

**ISBN 978-617-7722-34-1**

Представлені матеріали містять основні викладки прикладної теорії коливань, а також дає змогу освоїти на практиці дослідження коливань, які властиві вузлам та агрегатам автомобілів і тракторів, знаходити шляхи боротьби з негативними наслідками коливань.

Призначено для студентів, аспірантів, викладачів та наукових співробітників транспортного профілю.

Іл. 172. Табл. 14. Бібліограф. найм. 23.

**УДК 621.83.062.1**

**ISBN 978-617-7722-34-1**

© Кожушко А. П., 2018  
© ФОП Панов А. М., 2018

## ЗМІСТ

Вступ	6
РОЗДІЛ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ТЕРМІНОЛОГІЯ	7
1.1. Цілі і завдання курсу	7
1.2. Визначення механічних коливань. Параметри коливань	8
1.3. Основні етапи дослідження коливань	9
1.4. Класифікація коливань	10
1.5. Узагальнені координати, абсолютна і відносна системи відліку координат	13
1.6. Складання розрахункової моделі системи	16
РОЗДІЛ 2. СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА МЕХАНІЧНУ СИСТЕМУ В ПРОЦЕСІ ЇЇ РУХУ	18
2.1. Сили зовнішні і внутрішні	18
2.2. Позиційні сили. Пружні і квазіпружні сили	20
2.3. Оцінка пружних властивостей систем	21
2.4. Дисипативні сили різного роду тертя, характеристика. Коефіцієнт демпфування	31
2.5. Інерційні сили. Коефіцієнт інерції	33
2.6. Методика складання рівняння руху	34
РОЗДІЛ 3. ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ОДНОМАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ БЕЗ УРАХУВАННЯ ОПОРУ	36
3.1. Вільні коливання лінійної одномасової системи без урахування опору тертя	36
3.2. Вільні коливання одномасової системи з нелінійною відновлювальною силою	42
РОЗДІЛ 4. ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ОДНОМАСОВОЇ МЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З УРАХУВАННЯМ ОПОРУ ТЕРТЯ	48
4.1. Вільні коливання лінійної одномасової системи з урахуванням опору лінійно-в'язкого тертя	48
4.2. Вільні коливання лінійної одномасової системи з урахуванням опору сухого тертя	57
РОЗДІЛ 5. ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ ОДНОМАСОВИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ СИЛОВОМУ ЗБУРЕННІ	62
5.1. Вимушені коливання лінійної одномасової системи без урахування опору тертя	62

5.2.	Вимушені коливання лінійної одномасової системи при одиночному впливі	69
5.3.	Вимушені коливання лінійної одномасової системи в умовах лінійно-в'язкого тертя	77
<b>РОЗДІЛ 6.</b>	<b>ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ ЛІНІЙНИХ ОДНОМАСОВИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПРИ СКЛАДНОМУ ВПЛИВІ</b>	<b>85</b>
6.1.	Комплексна передавальна функція і її використання при дослідженні вимушених коливань	85
6.2.	Вимушені коливання лінійної одномасової системи в разі кінематичного зовнішнього впливу періодичного характеру	88
6.3.	Вимушене коливання при довільному періодичному зовнішньому впливі	93
<b>РОЗДІЛ 7.</b>	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ СКЛАДНОЇ СТРУКТУРИ</b>	<b>97</b>
7.1.	Особливості дослідження коливань нелінійних механічних систем	97
7.2.	Вимушені коливання механічних систем з нелінійною відновлювальною силою	101
7.3.	Вимушені коливання в нелінійних дисипативних системах	108
7.4.	Методика складання рівнянь руху багатомасових систем	110
<b>РОЗДІЛ 8.</b>	<b>ВІЛЬНІ КОЛИВАННЯ ЛІНІЙНИХ БАГАТОМАСОВИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ</b>	<b>115</b>
8.1.	Вільні коливання лінійних багатомасових систем	115
8.2.	Форми головних коливань	120
<b>РОЗДІЛ 9.</b>	<b>ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ ЛІНІЙНИХ БАГАТОМАСОВИХ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ</b>	<b>123</b>
9.1.	Вимушені коливання лінійних багатомасових систем без урахування опору тертя	123
9.2.	Вимушені коливання лінійних багатомасових систем в умовах лінійно-в'язкого тертя	128
9.3.	Побудова і аналіз амплітудно-частотних характеристик багатомасових механічних систем	135

РОЗДІЛ 10. БОРОТЬБА З КОЛИВАННЯМИ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ	139
10.1. Основні напрямки боротьби з коливаннями механічних систем	139
10.2. Віброізолятори і визначення їх параметрів	141
10.3. Вібропоглиначі та їх параметри	144
10.4. Динамічні гасителі коливань та їх розрахунок	148
РОЗДІЛ 11. КОЛИВАННЯ В ТРАНСМІСІЇ	153
11.1. Згинальні коливання валів трансмісії самохідної машини	153
11.2. Загальні уявлення про крутильні коливання	156
11.3. Двигун внутрішнього згорання як джерело крутильних коливань	162
11.4. Найпростіша модель крутильних коливань трансмісій	166
11.5. Вимушені коливання найпростішої трьохмасової моделі	174
11.6. Багатомасова модель крутильних коливань трансмісії	177
11.7. Боротьба з крутильними коливаннями	180
11.8. Динамічний гаситель крутильних коливань	184
РОЗДІЛ 12. ПІДРЕСОРЮВАННЯ	190
12.1. Складання розрахункової моделі	190
12.2. Підвіска та її характеристики	192
12.3. Вільні коливання двовісного транспортного засобу	201
12.4. Вимушені коливання двовісного транспортного засобу	210
РОЗДІЛ 13. Приклади вирішення задач	220
РОЗДІЛ 14. Задачі для самостійного вирішення	296
Список літератури	312