

І. В. ДРАЧ, В. П. РОЙЗМАН

**АВТОМАТИЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ
ОБЕРТОВИХ ТІЛ РІДИНОЮ**

Хмельницький 2018

УДК 62-752+62-755:531.4

ББК 3-04

Д72

*Рекомендовано до друку науково-технічною радою
Хмельницького національного університету,
протокол № 13 від 26.12.2018*

Рецензенти:

- О. Г. Шайко-Шайковський** – д-р техн. наук, проф. кафедри професійної та технологічної освіти і загальної фізики Чернівецького національного університету ім. Ю. Федьковича;
- І. С. Катеринчук** – д-р техн. наук, проф. кафедри телекомунікацій та радіотехніки Національної академії державної прикордонної служби України ім. Б. Хмельницького (м. Хмельницький);
- А. В. Горошко** – д-р техн. наук, доц., проф. кафедри фізики і електротехніки Хмельницького національного університету

Матеріали подані в авторській редакції

Драч І. В., Ройзман В. П.

Д72 Автоматичне балансування обертових тіл рідиною : монографія / І. В. Драч, В. П. Ройзман. – Хмельницький : ХНУ, 2018. – 189 с.

ISBN 978-966-330-333-8

Для обладнання зі змінним дисбалансом ротора єдиним методом є автоматичне балансування вільним переміщенням коригувальних мас, які прагнуть поєднати головну центральну вісь інерції ротора з його віссю обертання. Наведена теорія автоматичного зрівноваження обертових тіл рідинними і сипкими корегувальними матеріалами без підведення енергії та керування їх рухом.

Для фахівців галузі автоматичного балансування і віброзахисту роторів, інженерних працівників, студентів та аспірантів ЗВО.

УДК 62-752+62-755:531.4

ББК 3-04

ISBN 978-966-330-333-8

© Драч І. В., Ройзман В. П., 2018

© ХНУ, оригінал-макет, 2018

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	3
Вступ.....	5

Розділ 1.

Сучасний стан проблеми автоматичного балансування: основні тенденції та перспективи розвитку

1.1. Балансування роторів: проблеми, методи та засоби.....	11
1.2. Основні вимоги до автобалансуючих пристроїв.....	13
1.3. Огляд основних типів автобалансуючих пристроїв.....	14
1.4. Приклади застосування пасивних автобалансуючих пристроїв з рідинними і сипкими робочими тілами.....	18
1.5. Проблеми автоматичного балансування рідинними робочими тілами.....	20
1.5.1. Розвиток практики автоматичного балансування пасивними АБП.....	20
1.5.2. Аналіз робіт з інженерного розрахунку та досліджень рідинних АБП.....	29
1.6. Методи теоретичного дослідження динаміки твердих тіл з порожнинами, що містять рідину.....	32
1.7. Стратегічні напрями сучасних досліджень.....	33

Розділ 2.

Теоретичне дослідження процесу автоматичного балансування роторів з вертикальною віссю обертання рідкими робочими тілами

2.1. Фізичні основи загальних властивостей рідин.....	37
2.2. Дослідження руху жорсткого ротора в жорстких опорах з циліндричною камерою, частково заповненою рідиною, за стаціонарних умов обертання системи.....	38
2.2.1. Визначення форми вільної поверхні рідини, що обертається у відкритій порожнині відносно вертикальної осі.....	40
2.2.2. Визначення форми вільної поверхні рідини, що обертається у відкритій порожнині з ексцентриситетом.....	44
2.2.3. Визначення форми вільної поверхні рідини, що обертається у замкнутій циліндричній порожнині.....	45
2.2.4. Визначення форми вільної поверхні рідини залежно від ступеня заповнення порожнини.....	48
2.2.5. Визначення форми вільної поверхні рідини, що обертається у замкнутій циліндричній порожнині з ексцентриситетом.....	50
2.2.6. Моделювання зміни вільної поверхні рідини у циліндричних камерах АБП при обертанні жорсткого ротора.....	53

2.3. Дослідження руху пружно-деформівних роторів і роторів на пружних опорах з циліндричною камерою, частково заповненою рідиною, за стаціонарних умов обертання	54
2.3.1. Моделювання задачі балансування як задачі динаміки стаціонарного руху твердого тіла з порожниною, частково заповненою рідиною	54
2.3.2. Стійкість обертання навколо нерухомої точки важкого твердого тіла з рідиною	57
2.4. Дослідження поведінки рідини в камері АБП	60
2.4.1. Поведінка рідини в камері АБП без урахування дії сил зовнішнього опору	61
2.4.2. Поведінка рідини в камері АБП з урахуванням дії сил зовнішнього опору	64
2.5. Вплив в'язкості рідини на її поведінку в камері АБП	73
2.6. Інженерна методика розрахунку параметрів рідинних АБП для роторів з вертикальною віссю обертання	75

Розділ 3.

Обладнання і методики експериментальних досліджень процесу автоматичного балансування ротора з вертикальною віссю обертання

3.1. Обладнання і методика експериментальних досліджень	77
3.2. Експериментальні дослідження поведінки робочої рідини	83
3.2.1. Дослідження поведінки робочої рідини в камері АБП методом динамічної фотозйомки	83
3.2.2. Дослідження поведінки робочої рідини в камері АБП методом швидкісної відеозйомки	85

Розділ 4.

Аналіз теоретичних та експериментальних досліджень

4.1. Вплив радіуса камери АБП на ефективність балансування системи	89
4.2. Вплив об'єму рідини в камері АБП на ефективність балансування системи	91
4.3. Вплив в'язкості рідини в камері АБП на ефективність балансування системи	92
4.4. Експериментальна перевірка розрахунку деяких параметрів рідинного АБП	94
4.5. Дослідження ефективності автобалансування ротора АБП із сипкими робочими тілами	95
4.6. Дослідження поведінки рідини в циліндричній камері, встановленій на жорсткому роторі у жорстких опорах (метод динамічної фотозйомки)	97
4.7. Дослідження поведінки рідини в автобаланси́рі, встановленому на роторі в пружних опорах (метод швидкісної відеозйомки)	98

Розділ 5.

Аналіз математичної моделі руху рідини в автобаланси́рі, встановленому на пружно-деформівному роторі з горизонтальною віссю обертання

5.1. Дослідження поведінки рідини в камері АБП при розгоні горизонтального ротора	103
5.2. Визначення мінімальної кутової швидкості «захоплення» рідини камерою АБП	105
5.3. Форма вільної поверхні рідини, що знаходиться у стані рівноваги в АБП, встановленому на жорсткому роторі, який обертається зі сталою швидкістю	107
5.4. Математична модель зрівноваження горизонтального пружно-деформівного ротора рідинним АБП	108
5.4.1. Модель поведінки рідини в АБП, встановленому на горизонтальному пружно-деформівному роторі, з урахуванням дії сил зовнішнього опору та ваги рідин	108
5.4.2. Вплив кута нахилу осі обертання до горизонту на ефективність автобалансування	117

**Розділ 6.
Експериментальні дослідження роботи рідинних АБП
на роторах з горизонтальною віссю обертання**

6.1. Дослідження можливості роботи рідинних АБП на пральній машині з горизонтальною віссю обертання.....	121
6.2. Розробка і налагодження експериментальної установки з горизонтальним ротором, встановленим на пружних опорах.....	122
6.3. Дослідження процесу автоматичного балансування ротора з горизонтальною віссю обертання.....	126
6.4. Дослідження впливу кута нахилу осі обертання ротора до горизонту на ефективність автобалансування.....	129

**Розділ 7.
Метод випадково-спрямованого пошуку
збалансованого стану ротора зі змінним дисбалансом**

7.1. Розробка електромеханічної системи методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.....	133
7.2. Нечітка продукційна модель оцінки визначального параметра методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.....	134
7.3. Розробка електричної системи методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.....	139
7.4. Оцінка споживаної потужності електродвигуна при проходженні ротора через резонанс з автобалансиром та без нього.....	140
7.5. Удосконалення методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора машини на основі нечіткої оптимізації.....	141

**Розділ 8.
Покращення динаміки машин
та її вплив на ефективність автобалансування
і результативність методу випадково-спрямованого пошуку**

8.1. Підвищення ефективності методу випадково-спрямованого пошуку збалансованого стану ротора.....	143
8.2. Коливання машин з горизонтальною віссю обертання ротора.....	145
8.2.1. Динамічна модель, основні припущення.....	145
8.2.2. Визначення переміщень бака машини.....	146
8.2.3. Визначення кінетичної енергії системи «бак – барабан».....	147
8.2.4. Визначення потенціальної енергії та енергії розсіювання системи «бак – барабан».....	156
8.2.5. Диференціальні рівняння руху системи «бак – барабан».....	157
8.2.6. Аналіз одержаних диференціальних рівнянь на зв'язність коливань.....	162
8.2.7. Основні вимоги до конструкції роторних машин.....	164
8.3. Експериментальна перевірка теоретичних положень підвищення ефективності автобалансування ротора рідинним автобалансиром.....	164

Післямова.....167

Перелік джерел посилання.....169

Додаток А.....179

Наукове видання

*Драч Ілона Володимирівна,
Ройзман Вілен Петрович*

АВТОМАТИЧНЕ БАЛАНСУВАННЯ ОБЕРТОВИХ ТІЛ РІДИНОЮ

Відповідальний за випуск: *В. С. Яремчук*

Художнє оформлення обкладинки: *О. В. Бобровський, О. В. Станіславова*

Технічне редагування, коректування і верстка: *О. В. Чопенко*

Підписано до друку 27.12.2018.

Формат 30×42/2. Папір офс. Гарн. Times New Roman.

Друк різнографією. Ум. друк. арк. – 16,32. Обл.-вид. арк. – 13,00.

Тираж 100. Зам. № 208/18

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі ХНУ

29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1

Свідоцтво про внесення в Державний реєстр,

серія ДК № 4489 від 18.02.2013 р.