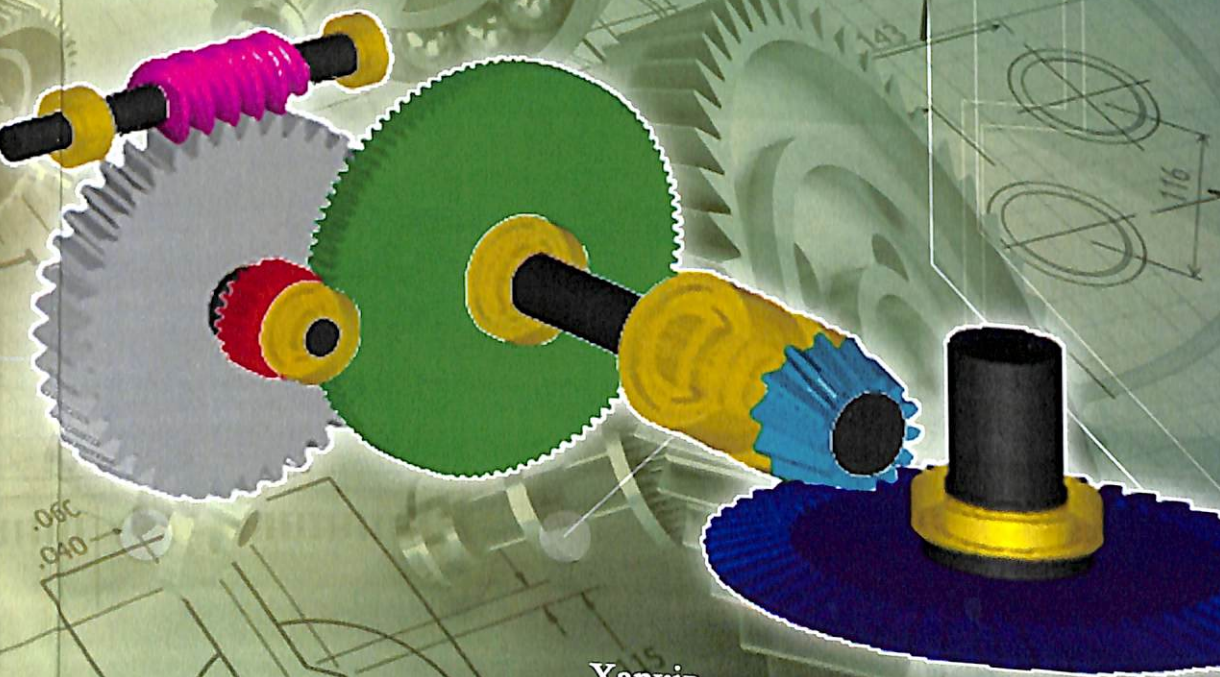


МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

Л. А. Олексієва, С. Ю. Іленко

# ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

Частина 2



Харків  
2020

531  
0-53

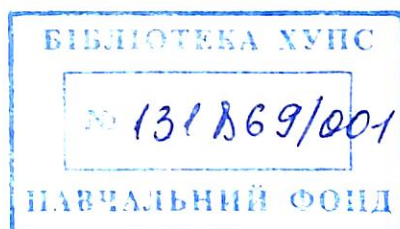
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ імені ІВАНА КОЖЕДУБА

Л. А. Олексіва, Є. Ю. Іленко

**ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА**

Частина 2

Навчальний посібник



Харків

2020

УДК 531.8.07  
О-53

*Рекомендовано до друку вченою радою  
Харківського національного університету  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
(протокол №19 від 19.12.2018 р.)*

*Рецензенти:* С. А. Калкаманов, завідувач кафедри тактики авіації льотного факультету, доктор технічних наук, професор (ХНУПС);  
А. М. Зарубін, професор кафедри авіаційного обладнання та комплексів повітряної розвідки інженерно-авіаційного факультету, кандидат технічних наук, доцент (ХНУПС).

**Олексієва Л. А.**

О-53 Прикладна механіка. Ч. 2: навч. посіб. / Л. А. Олексієва, Є. Ю. Іленко. – Х.: ХНУПС, 2020. – 208 с.

Містить відомості з теоретичної та практичної підготовки курсантів, слухачів і студентів при вивченні питань з основ прикладної механіки, сприяє підвищенню ефективності та якості навчання.

Викладено основні методи розрахунку на міцність деталей і вузлів механічних пристроїв, структурного та кінематичного аналізу важільних і зубчастих механізмів, розглянуті питання зрівноважування механізмів, призначення та конструктивні особливості різних типів з'єднань, валів, осей і підшипників.

Призначено для курсантів, слухачів та студентів, які вивчають дисципліни: "Прикладна механіка", "Технічна механіка", "Теорія механізмів та деталі машин".

Перша частина "Основи теоретичної механіки" посібника "Прикладна механіка" вийшла друком у 2015 році.

**УДК.531.8.07**

© Олексієва Л. А., Іленко Є. Ю., 2020

© Харківський національний університет  
Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2020

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1. ОСНОВНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРАХУНКУ ДЕТАЛЕЙ НА МІЦНІСТЬ.....	7
1.1. Зовнішні сили та розрахункові схеми механізмів.....	7
1.2. Деформація тіла. Напруження.....	8
1.3. Залежність між напруженнями і деформаціями (закон Гука).....	15
1.4. Фізико-механічні властивості конструкційних матеріалів.....	15
2. РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ.....	19
2.1. Принципи розрахунку деталей на міцність .....	19
2.2. Розтягування (стискання) стрижня, напруження і деформації, розрахунок на міцність.....	21
2.3. Зсув, напруження і деформації, розрахунок на міцність.....	25
2.4. Кручення вала, напруження і деформації, розрахунок на міцність..	28
2.5. Вигин балок, напруження і деформації, розрахунок на міцність. Екюри внутрішніх силових факторів.....	31
3. СТРУКТУРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ.....	44
3.1. Основні поняття будови механізмів.....	46
3.2. Кінематичні пари та їх класифікація.....	48
3.3. Плоскі важільні механізми, число ступенів вільності та його визначення за формулою П. Л. Чебишева.....	52
4. КІНЕМАТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ ....	55
4.1. Методи кінематичного дослідження.....	56
4.2. Побудова планів положень механізму.....	58
4.3. Плани швидкостей і прискорень механізмів.....	62
5. ЕЛЕМЕНТИ ДИНАМІКИ МЕХАНІЗМІВ.....	82
5.1. Задачі динаміки.....	82
5.2. Сили, які діють на ланки механізмів.....	83
5.3. Сили інерції та їх визначення.....	85
5.4. Зрівноважування мас, що обертаються.....	88
5.5. Балансування деталей .....	93
6. МЕХАНІЧНІ ПЕРЕДАЧІ ТА ЇХ ДЕТАЛІ.....	98
6.1. Призначення передач.....	98
6.2. Види передач.....	99
6.3. Основні параметри передач.....	109
7. ЗУБЧАСТІ ТА ЧЕРВ'ЯЧНІ ПЕРЕДАЧІ.....	113
7.1. Види зубчастих і черв'ячних передач.....	113
7.2. Основна теорема зачеплення.....	118
7.3. Евольвентне зачеплення. Лінія та кут зачеплення.....	122

7.4. Геометричні параметри нормального прямозубого циліндричного зубчастого колеса .....	127
7.5. Якісні показники зубчастого зачеплення.....	131
7.6. Методи виготовлення коліс.....	133
7.7. Вихідний виробний контур рейкового інструменту.....	137
7.8. Мінімальна кількість зубців шестірні. Поняття про підріз зубців... ..	139
7.9. Основні відомості про виправлення зубчастих коліс.....	141
7.10. Косозубі та шевронні колеса. Особливості, геометричні параметри.....	144
7.11. Конічні зубчасті передачі. Особливості, геометричні параметри..	146
7.12. Черв'ячні механізми. Геометричні параметри й кінематика.....	150
7.13. Складні зубчасті передачі.....	155
7.14. Передаточне відношення складних зубчастих передач із нерухомими осями.....	155
7.15. Передаточне відношення складних зубчастих передач із рухомими осями.....	162
<b>8. З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....</b>	<b>172</b>
8.1. Основні поняття про з'єднання.....	172
8.2. Зварні з'єднання.....	174
8.3. Заклепкові з'єднання.....	175
8.4. Нарізні з'єднання.....	177
8.5. Шпонкові та шліцьові з'єднання.....	181
<b>9. ДЕТАЛІ Й ВУЗЛИ ПЕРЕДАЧ.....</b>	<b>184</b>
9.1. Вали і осі та їх конструктивні особливості.....	184
9.2. Розрахунок валів.....	189
9.3. Опори валів і осей. Призначення.....	191
9.4. Класифікація, основні характеристики підшипників кочення.....	193
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>203</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА .....</b>	<b>205</b>

## ВСТУП

Дисципліна “Прикладна механіка” є нормативною дисципліною для підготовки фахівців за спеціальністю “Авіоніка”.

Розвиток сучасної науки і техніки нерозривно пов’язаний із розробкою, створенням та експлуатацією нових машин, механізмів, приладів. Сучасна техніка – це сукупність багатьох механізмів і приладів, в основу роботи яких покладені принципи механіки.

У “Прикладній механіці” вивчаються основні закони руху й механічної взаємодії тіл; методи структурного, кінематичного і динамічного аналізу механізмів; методи розрахунку типових деталей на міцність; загальні принципи побудови механічних передач приладів та приводів агрегатів літальних апаратів на базі використання стандартних виробів, а також методи експериментального дослідження деталей і вузлів механічних передач.

Розрахунок, раціональне проектування та грамотна експлуатація механізмів, машин і приладів забезпечують потрібну надійність та бездатність літального апарата загалом, безпечність його польоту. Отримані знання і вміння допоможуть курсантам аналізувати роботу елементів конструкції літака чи вертольота та приймати правильні рішення про подальшу експлуатацію авіаційного обладнання.

Будучи комплексною загальнотехнічною дисципліною, “Прикладна механіка” містить у собі в тому або іншому обсязі основні положення її найважливіші розділи дисциплін “Теоретична механіка”, “Опір матеріалів”, “Теорія механізмів та деталі машин”. Кожний наступний розділ не можна розглядати без вивчення попереднього. Це створює значні труднощі при вивченні дисципліни. При цьому відповідні розділи вводяться як логічно обумовлені та зв’язані між собою теми єдиної дисципліни. За таких умов важливого значення набуває вивчення всього курсу, щоб кваліфіковано вирішувати питання вибору, проектування і розрахунків, а також експлуатації механічних систем обладнання літальних апаратів.

Таким чином, основними завданнями курсу є вивчення загальних принципів проектування й конструювання, будови моделей і алгоритмів розрахунків типових деталей та вузлів механічного обладнання з урахуванням їх головних критеріїв працездатності, що необхідно для проектування нового або модернізації й надійної експлуатації діючого обладнання.

Дисципліна “Прикладна механіка” закладає основу загальноінженерної підготовки спеціалістів і здійснює логічний перехід до вивчення спеціальних дисциплін та підготовки бакалаврської роботи. Усе це зумовлює актуальність вивчення дисципліни.

Сучасні військові фахівці повинні досконало володіти методами аналізу й експлуатації приладів, високопродуктивних машин, машин-автоматів, автоматичних ліній, які задовольняють високим вимогам надійності й точності відтворення переміщень робочого органу та ін.

Випускники ВВНЗ є фахівцями широкого профілю, підготовленими для самостійної інженерної, дослідницької, керівної та організаційної діяльності у сфері експлуатації авіаційної техніки, особливо при виконанні ремонту і технічного обслуговування літальних апаратів в жорстких умовах проведення ООС (АТО).

Військові інженери, які експлуатують літальні апарати в умовах проведення ООС (АТО), повинні добре знати основні види механізмів та їхні кінематичні й динамічні властивості. Ці знання необхідні для чіткого розуміння принципів роботи окремих механізмів, приладів та їх взаємодії в машині, що є визначальним при проведенні ремонту в екстремальних бойових ситуаціях.

Під час розробки навчального посібника був використаний досвід викладання дисциплін кафедри в межах вищого військового навчального закладу, проведення консультацій та інших видів занять.

Навчальний посібник необхідно розглядати як базову частину єдиного навчального комплексу, призначеного для вивчення дисципліни і самостійної роботи під час виконання розрахунково-графічних, лабораторних, контрольних та інших видів робіт. Значна увага приділяється виконанню практичних завдань. У посібнику наведені приклади розв'язання типових задач із різних тем курсу.

Зміст навчального посібника повністю відповідає програмі навчальної дисципліни "Прикладна механіка". Для зручності використання навчального посібника всі матеріали подані в послідовності, яка передбачена планом вивчення дисципліни за видами навчальних занять. Викладення питань розширено в порівнянні зі змістом лекцій, практичних та лабораторних занять.

Навчальний посібник складається з дев'яти розділів і є продовженням посібника "Прикладна механіка", частина перша "Основи теоретичної механіки", виданого в 2015 році.



# 1. ОСНОВНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО РОЗРАХУНКУ ДЕТАЛЕЙ НА МІЦНІСТЬ

Усі машини, механізми створюються за попередньо розробленими проектами. Одним із найважливіших питань є вибір таких форм і розмірів деталей виробів, що при мінімальних витратах забезпечують повну надійність та економічність виробу загалом.

Надійність виробу насамперед визначається його працездатністю, яка, в першу чергу, залежить від міцності й жорсткості.

Основи для вирішення цього завдання дає наука про міцність – опір матеріалів або розділ “Основи розрахунку на міцність” дисципліни “Трикладна механіка”.

## 1.1. Зовнішні сили і розрахункові схеми механізмів

### Зовнішні сили

У науці про міцність зовнішні сили, які діють на досліджуване тіло, найчастіше називають навантаженням.

За способом прикладення навантаження сили поділяють на зосереджені й розподілені.

До *зосереджених* належать сили, що передаються на елемент деталі через площадку невеликих розмірів у порівнянні з розмірами всієї деталі. При розрахунках зосереджену силу вважають прикладеною в точці. Характеристикою зосередженої сили є модуль  $F$  із розмірністю, наприклад, кГ, Н.

До *розподілених* належать навантаження, прикладені безперервно на деякій довжині або площі. Характеристикою розподілених навантажень є їх інтенсивність  $q$ , тобто величина навантаження, яка припадає на одиницю довжини або площі. У першому випадку величина вимірюється, наприклад, кГ/м, Н/м, а у другому – кГ/м<sup>2</sup>, Н/м<sup>2</sup>.

Розподілених, як і зосереджених, навантажень у природі не існує; вони виникають як результат схематизації дійсних навантажень.

### Розрахункові схеми

Жодна з наук при вивченні реального об'єкта або процесу не враховує повністю всіх його особливостей. У будь-якому випадку реальний об'єкт або процес замінюються розрахунковою схемою. Механізми чи машини являють собою складні конструкції з великою кількістю факторів, що впливають на їх роботу. Тому при розрахунку їх на міцність вдаються до абстрагування реальної конструкції, тобто до свідомого відхилення другорядних факторів і збереження основних.