

**Олександр КОРНІЛОВ**

**КОРОТКИЙ КУРС  
ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ**

Видавництво ПП "Магнолія 2006"

Львів

УДК 539.3

*Гриф надано Міністерством освіти і науки України*

Рецензенти:

**В. В. Ковтун** – проф., докт. техн. наук

**В. М. Комір** – проф., докт. техн. наук

**Корнілов О. А.**

Короткий курс опору матеріалів: Підручник. – Львів:ПП "Магнолія 2006" – 170 с.

ISBN 966-8340-50-7

У підручнику викладено скорочений курс опору матеріалів. Крім традиційних розрахунків статичної міцності стрижнів на розтяг, стиск, кручення і гнуття та при складному напруженні, у підручнику викладено концентрацію напруг, контактні напруги, основи механіки руйнування, втому металів, стійкість стрижнів, удар та безмоментні тонкостінні оболонки.

Для студентів технікумів, коледжів та інститутів, які вивчають односеместровий курс опору матеріалів, а також фахівців, які працюють у машинобудуванні й енергетиці, на транспорті, в авіа- і суднобудуванні.

ISBN 966-8340-50-7

УДК 539.3

© О. А. Корнілов  
© ПП "Магнолія 2006"

*Моїм студентам присвячується.*

## ПЕРЕДМОВА

*Зміст заїла перемога.*

Євген Маланюк

В багатьох технічних навчальних закладах студенти вивчають опір матеріалів за скороченою програмою. При цьому для них серйозною перешкодою є відсутність відповідних україномовних навчальних текстів і особливо підручників. Видання даного підручника має за мету хоча б частково заповнити цю прогалину. Основним утрудненням при написанні такого підручника є раціональний і обґрунтований відбір необхідного навчального матеріалу. Автор керувався тою самою концепцією пріоритету місцевих напруг, яку було покладено в основу його підручника “Опір матеріалів”

Перші п’ять розділів присвячено традиційним питанням розрахунку статичної міцності стрижнів на розтяг, стиск, кручення і гнуття та при складному напруженні. Це є обов’язкова абетка будь-якого курсу опору матеріалів.

Включення інших питань потребує певного обґрунтування. Будемо виходити з того, що за оцінками фахівців не менше як 85—90 % всіх відмов механічного характеру складають пошкодження поверхонь внаслідок зношення, фретинг-корозії, контактної втоми тощо та поломи, спричинені втомою деталей або статичним чи динамічним руйнуванням за наявності тріщин або інших дефектів. Втома в свою чергу зазвичай пов’язана з дією концентрації напруг і деформацій. З цього випливає, що навіть в короткому підручнику з опору матеріалів необхідно тою чи іншою мірою дати майбутнім фахівцям уявлення про розв’язок найпростіших контактних задач та задач на геометричну концентрацію напруг, застосування сучасних підходів механіки руйнування до оцінки роботоздатності деталей з тріщинами, а також про розрахунки на втому. Переліченим проблемам присвячено 6 — 9 розділи. Ці розділи є обов’язковими для вивчення, починаючи принаймні з 24 — 30 аудиторних годин.

Останні 10 — 12 розділи, які містять удар, стійкість та тонкостінну оболонку, можна давати студентам за кількості годин до 68.

У підручнику наведено також українсько-російський термінологічний словник.

Автор висловлює щире дяку Дмитрові Самородову за значну комп’ютерну допомогу в підготовленні до друку цього підручника.

Повну відповідальність за всі можливі вади і помилки несе лише автор, який буде дуже вдячний всім, хто на них укаже.

Олександр Корнілов

## ВСТУП

*Міцність уже сама по собі є благом.*  
Оноре де Бальзак

Будь-яка конструкція передовсім повинна бути міцною. Це одна з найперших вимог до її складників.

Під **міцністю** в широкому значенні слова розуміють здатність тіла (елемента конструкції) взаємодіяти з іншими тілами протягом певного часу без таких змін свого механічного стану, які могли б порушити нормальну роботу конструкції. До подібних змін відносять руйнування (тобто розділення тіла на окремі частини), утворення неприпустимо великих тріщин, надмірне змінення розмірів і форми тіла, втрату початкової форми рівноваги, пошкодження поверхонь тощо. У вузькому значенні слова міцністю вважають лише здатність тіла чинити опір руйнуванню.

**Опір матеріалів** — навчальна дисципліна, в якій вивчають основи інженерних методів розрахунків на міцність. Більшість цих методів наближені. Тому розробляння їх потребує прийняття низки спрощувальних припущень і передумов. Поки що обмежимося введенням двох вихідних передумов:

1. Матеріал розглядаємо як **однорідне середовище**. Це означає, що властивості матеріалу в кожній точці тіла однакові. В свою чергу однорідність матеріалу можлива лише за його **суцільності**. Перервність структури матеріалу на атомно-молекулярному рівні не беремо до уваги.

2. Властивості матеріалу приймаємо однаковими в усіх напрямках, тобто матеріал вважаємо **ізотропним**. До таких матеріалів відносять зазвичай метали і металеві сплави, розрахункам яких присвячена більша частина підручника. В той же час багато матеріалів тією чи іншою мірою, а іноді й досить істотно, **анізотропні** — тобто їхні властивості залежать від напрямку, приміром, у композиційних матеріалах.

Інші передумови і припущення будемо вводити при викладанні навчального матеріалу в безпосередньому зв'язку з розглядуваними задачами.

Об'єктом вивчення в опорі матеріалів є елементи конструкцій (тіла), які можна представити геометричною моделлю **стрижня, пластинки і оболонки**. В коротких курсах опору матеріалів найчастіше обмежуються лише розрахунками стрижнів на міцність.

Взаємодію тіл, що стикаються між собою, характеризують силами, які називають **зовнішніми**. Внаслідок зовнішньої взаємодії тіл змінюються внутрішня взаємодія між частками матеріалу і їхнє взаємне розміщення — матеріал **деформується**. Для кількісного опису цієї додаткової внутрішньої взаємодії в опорі матеріалів використовують величини, названі **внутрішніми зусиллями**. Саме внутрішні зусилля і пов'язані з ними зміни розмірів та форми тіла становлять **предмет вивчення** в опорі матеріалів.

Оскільки нас цікавитиме міцність одного якого-небудь тіла, то далі замість виразів „взаємодія тіл”, „дія одного тіла на інше” будемо вживати як їхні

синоніми вирази „дія сили (навантаги, обтягу) на тіло” або „обтяження тіла”.

Основні різновиди задач, які розв’язують в опорі матеріалів:

**1. Перевірний розрахунок.** Відомі розміри деталі, матеріал і його властивості та обтяги. Необхідно перевірити, чи будуть виконуватися умови міцності (в широкому розумінні слова). Це найпоширеніший різновид розрахунків.

**2. Проектувальний розрахунок** полягає в тому, щоб визначити з умови міцності найменші надійні розміри проєктованого виробу.

**3. Встановлення найбільшого безпечного обтягу** для існуючої конструкції.

**4. Визначення довговічності**, тобто строку служби до порушення міцності.

**5. Дослідне визначення механічних властивостей матеріалу.**

Жоден з розрахунків на міцність з перших чотирьох різновидів задач неможливо зробити без порівняння з наслідками дослідів (п’ятий тип). Досягнутий рівень науки поки що не дає змоги суто теоретично визначити міцнісну надійність тіла під дією яких завгодно експлуатаційних навантаж. Тому опір матеріалів нерозривно поєднує в собі теоретичні і дослідні методи. Тільки таке поєднання теорії і дослідів забезпечує вірогідність висновків опору матеріалів.

Як навчальна дисципліна, опір матеріалів спирається на курси фізики, матеріалознавства, теоретичної механіки і математики. В свою чергу ця навчальна дисципліна служить підґрунтям для вивчення курсів деталей машин, розрахунків та конструювання різних машин і апаратів та для багатьох інших дисциплін.

## ЗМІСТ

	Передмова.....	3
	Вступ.....	4
<b>РОЗДІЛ I</b>	<b>РОЗТЯГ І СТИСК</b>	
	Вступ	
1.1.	Напруги в перерізах прямого стрижня.....	6
1.2.	Деформування стрижня при розтягу або стиску.....	8
1.3.	Основні механічні характеристики матеріалів при розтягу. Діаграма .. розтягу.....	10
1.4.	Змінення довжини стрижня за розтягу і стиску.....	16
1.5.	Запас міцності і допускна напруга.....	18
1.6.	Потенційна енергія пружного деформування за розтягу і стиску.....	20
1.7.	Статично невизначні задачі при розтягу і стиску.....	22
	Запитання для самоперевірки.....	25
	Задачі.....	27
	Література.....	28
<b>РОЗДІЛ II</b>	<b>КРУЧЕННЯ</b>	
	Вступ	
2.1.	Зсув.....	29
2.2.	Кручення стрижнів круглого попереччя.....	31
2.3.	Полярний момент інерції і полярний момент опору.....	34
2.4.	Міцність і жорсткість стрижнів при крученні.....	35
2.5.	Розрахунок циліндричної гвинтової пружини з малим кроком витка.. Запитання для самоперевірки... ..	40
	Задачі.....	42
	Задачі.....	43
<b>РОЗДІЛ III</b>	<b>ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕРІЗІВ</b>	
	Вступ	
3.1.	Статичні моменти перерізу.....	45
3.2.	Моменти інерції перерізу .....	46
	Запитання для самоперевірки.....	49
	Задачі.....	49
<b>РОЗДІЛ IV</b>	<b>ГНУТТЯ</b>	
	Вступ	
4.1.	Основні типи опор і балок. Різновиди обтягів.....	50
4.2.	Нормальні напруги в попереччі балки при чистому гнутті.....	52
4.3.	Про дотичні напруги при поперечному гнутті призматичних..... нетонкостінних балок.....	57
4.4.	Епюри гнучих моментів і поперечних сил. Розрахунок балки на міцність	59
4.5.	Диференційні залежності між гнучим моментом, поперечною силою та інтенсивністю розподіленої навантаги.....	63

4.6.	Епюри гнучих моментів і поперечних сил. Розрахунок балки на міцність (продовження).....	64
4.7.	Переміщення при гнутті. Метод Мора.....	67
	Запитання для самоперевірки.....	72
	Задачі.....	72
	Література.....	73

## РОЗДІЛ V

## СКЛАДНЕ НАПРУЖЕННЯ

5.1.	Різновиди напружень.....	74
5.2.	Узагальнений закон Гука.....	74
5.3.	Залежності між напругами у двовісному напруженні.....	74
5.4.	Розрахунки за критеріями міцності.....	77
	Запитання для самоперевірки.....	79
	Задачі.....	79

## РОЗДІЛ VI

## КОНТАКТНІ НАПРУГИ І ПЕРЕМІЩЕННЯ

	Вступ	
6.1.	Задача Герца: стиск двох циліндрів з паралельними осями.....	81
6.2.	Контактна міцність тіл, що стикаються.....	86
	Приклади.....	86
	Запитання для самоперевірки.....	89
	Задачі.....	90
	Література.....	91

## РОЗДІЛ VII

## КОНЦЕНТРАЦІЯ НАПРУГ

	Вступ	
7.1.	Розтяг тонкої пластинки з малим круглим отвором.....	92
7.2.	Концентрація напруг. Коефіцієнт концентрації напруг.....	93
	Запитання для самоперевірки.....	98
	Задачі.....	99
	Література.....	99

## РОЗДІЛ VIII

## ОСНОВИ МЕХАНІКИ РУЙНУВАННЯ

	Вступ	
8.1.	Різновиди руйнування.....	101
8.2.	Приклади крихкого руйнування конструкцій.....	102
8.3.	Крихке руйнування. Теорія Гріффітса.....	103
8.4.	Напружено-пошкоджений стан в околі вістря тріщини.....	106
8.5.	Межа тріщиноотривкості. Критерій крихкого руйнування.....	108
8.6.	Практичне застосування механіки руйнування.....	110
	Запитання для самоперевірки.....	113
	Задачі.....	113
	Література.....	114

## РОЗДІЛ ІХ

## ВТОМА МЕТАЛІВ

	Вступ	
9.1.	Основні характеристики змінного обтяження. Різновиди циклів обтяження.....	116
9.2.	Крива втоми. Межа витривалості.....	117
9.3.	В'язь циклічної і статичної міцності.....	119
9.4.	Вплив різних чинників на межу витривалості.....	120
9.5.	Розрахунки на міцність при регулярному багатоцикловому обтяжуванні.....	129
	Запитання для самоперевірки.....	130
	Задачі.....	131
	Література.....	131

## РОЗДІЛ Х

## СТІЙКІСТЬ СТИСНУТИХ СТРИЖНІВ

	Вступ	
10.1.	Визначення критичної сили методом Ейлера.....	132
10.2.	Критична напруга. Межі застосування формули Ейлера.....	136
10.3.	Вибір раціональної форми попереччя і матеріалу стиснутого стрижня.....	137
	Запитання для самоперевірки.....	138
	Задачі.....	139

## РОЗДІЛ Х

## МІЦНІСТЬ ПРИ УДАРНИХ НАВАНТАГАХ

	Вступ	
11.1.	Удар жорсткого тіла по пружній системі з нехтовно малою масою. Коефіцієнт динамічності.....	141
11.2.	Удар при крученні.....	144
	Запитання для самоперевірки.....	145
	Задачі.....	145

## РОЗДІЛ ХІІ

## ТОНКОСТІННА ОБОЛОНКА

	Вступ	
12.1.	Розрахунок осесиметричних оболонок за безмоментною теорією.....	147
	Запитання для самоперевірки.....	152
	Задачі.....	153
	Термінологічний словник.....	154
	Сортамент прокатної сталі.....	158

*Замість епілога*

Павло Глазовий

**Страшні знання**

Прийшов студент  
четвертий раз  
Складати сопромат.  
Хвилин п'ятнадцять щось мовив —  
І все було невлад.  
Професор мовив: — Ну, гаразд,  
Поставлю трійку вам.  
Студент на місці остовпів,  
Не вірячи ушам.  
— Невже я витримав? Невже? —  
Професора спитав,  
А той до нього нахилився  
І тихо прошептав:  
— Я ваших знань уже боюсь,  
Це я не витримав. Здаюсь!

Навчальне видання

Олександр Андрійович КОРНІЛОВ

## **КОРОТКИЙ КУРС ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ**

Підручник

Формат 70x100/16. Папір офсетний.  
Гарнітура Тип Таймс. Умовн. друк. арк. 13,77

ПП "Магнолія 2006"

м. Львів-53, 79053, Україна, тел.+380503701957

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру  
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 2534 від 21.06.2006 року,  
видане Державним комітетом телебачення і радіомовлення України

Віддруковано у поліграфічному центрі ПП "Магнолія 2006"