

В.А. Огородніков, І.О. Сивак, М.В. Бабак

ОПІР МАТЕРІАЛІВ
З ЕЛЕМЕНТАМИ ТЕОРІЇ ПЛАСТИЧНОСТІ
Частина 1

УДК 620.1(075)
О 39

Р е ц е н з е н т и:

П.С. Берник, доктор технічних наук, професор
О.М. Переяславський, кандидат технічних наук, доцент
А.С. Моргун, кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України

В.А. Огородніков, І.О. Сивак, М.В. Бабак

О 39 Опір матеріалів з елементами теорії пластичності. Під загальною редакцією В.А. Огороднікова.

Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2001. – 100 с.

Навчальний посібник стане в нагоді студентам всіх спеціальностей, а також буде корисним викладачам та фахівцям.

УДК 620.1(075)

© В.А. Огородніков, І.О. Сивак, М.В. Бабак, 2001

ЗМІСТ

Передмова	5
1. Основні положення	6
1.1 Предмет і задачі курсу.	6
1.2 Реальний об'єкт і розрахункова схема.	8
1.3 Основні гіпотези і припущення.	8
1.4 Види навантажень і основних деформацій.	9
1.5 Внутрішні сили. Метод перерізів.	11
1.6 Напруження в перерізі.	12
2. Розтягання і стискання	14
2.1 Напруження і деформації.	14
2.2 Закон Гука для розтягання і стискання.	16
2.3 Діаграма розтягання. Механічні характеристики матеріалу.	17
2.4 Допустиме напруження.	20
2.5 Розрахунки на міцність за допустимими напруженнями.	21
2.6 Статично невизначуванні задачі.	22
2.7 Розрахунок температурних напружень в СНС	26
3. Напружений стан в точці	29
3.1 Поняття про напружений стан.	29
3.2 Плоский напружений стан.	30
3.3 Головні площадки і головні напруження	31
3.4 Узагальнений закон Гука.	33
3.5 Потенціальна енергія деформації	33
4. Теорії міцності	35
4.1 Оцінка міцності при складному напруженому стані.	35
4.2 Основні гіпотези міцності.	36
4.3 Критерії руйнування	38
5. Зсув	41
5.1 Основні поняття. Напруження при зсуві.	41
5.2 Напруження і деформації при чистому зсуві.	41
5.3 Практичні розрахунки на зріз і зминання.	43

6.	Геометричні характеристики плоских перерізів.	45
6.1	Статичний момент площі. Центр ваги перерізу.	45
6.2	Моменти інерції перерізу.	46
6.3	Формули переходу до паралельних або повернутих осей. .	47
6.4	Головні осі інерції та головні моменти інерції перерізу. . .	49
6.5	Радіуси інерції. Моменти опору.	50
7.	Кручення.	52
7.1.	Напруження і деформації при крученні стержнів круглого поперечного перерізу.	52
7.2.	Епюри крутних моментів.	55
7.3.	Розрахунки на міцність і жорсткість.	55
7.4.	Напруження і деформації в стержнях прямокутного поперечного перерізу.	57
7.5.	Статично невизначуванні задачі при крученні.	59
8.	Згин.	62
8.1.	Основні поняття.	62
8.2.	Поперечна сила і згинальний момент.	62
8.3.	Залежності між інтенсивністю розподіленого навантаження, поперечною силою і згинальним моментом.	64
8.4.	Епюри поперечних сил і згинальних моментів.	65
8.5.	Нормальні напруження при чистому згині.	68
8.6.	Поперечний згин. Дотичні напруження.	72
8.7.	Аналіз напруженого стану при згині. Розрахунки на міцність	73
8.8	Рівняння пружної лінії зігнутої балки.	78
8.9.	Визначення кутових та лінійних переміщень методом початкових папаметрів.	80
	Додаток А	84
	Література	99

ПЕРЕДМОВА

Останнім часом в зв'язку зі скороченням аудиторного часу, який відводиться на вивчення курсу опору матеріалів в вищих навчальних закладах, і в той же час появою нових розділів в науках про міцність – повзучість, експериментальна механіка машин, пластичність, теорія надійності та інше, виникла потреба в створенні короткого підручника, який буде відображати сучасні тенденції розвитку наук про міцність. Більшість відомих нам підручників розраховані на суттєво більший об'єм годин, ніж це передбачено сучасними програмами. Тому в запропонованому підручнику зроблена спроба привести у відповідність фактичний об'єм відведених годин, які відводяться на вивчення курсу опору матеріалів, із конспективним його викладенням.

Крім того, на відміну від підручників, які вже існують, де деякі розділи наук про міцність відображені слабо, в запропонованому підручнику викладено новий науковий напрямок, який розвивається на кафедрі опору матеріалів та прикладної механіки ВДТУ з 1971 року – теорія граничних станів в умовах складного напруженого стану і складного навантаження, теорія деформовності тіл зі складною реологією. Цей матеріал представляє великий науковий та практичний інтерес як для спеціалістів, які досліджують матеріал за границею пружності, так і для технологів з обробки металів тиском.

Підручник складається із трьох частин:

I – охоплює розділи “Основні положення”, “Розтягання і стискання”, “Напружений стан в точці”, “Теорія міцності”, “Зсув”, “Геометричні характеристики плоских перерізів”, “Кручення” і “Згин”;

II – традиційні розділи і розділи в яких висвітлені методи розрахунків за межами пружності;

III – експериментальна механіка машин.

Деякі спеціальні розділи підручника призначені для студентів усіх спеціальностей, а також корисні для магістрів, аспірантів та викладачів вищих навчальних закладів.

1 ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ

1.1 Предмет і задачі курсу

Опір матеріалів як наука виник в епоху Відродження, коли розвиток техніки, торгівлі, мореплавства, військової справи вимагав наукових обґрунтувань, потрібних для будівництва великих морських суден, мостів, гідротехнічних споруд та інших складних конструкцій. Засновником цієї науки вважають італійського вченого Галілея (1564–1642). Значний вклад в розвиток науки про опір матеріалів вніс англійський вчений Роберт Гук (1635–1703), який відкрив закон пружної деформації. Подальший розвиток цієї науки був викликаний прогресом промисловості і пов'язаний з працями видатних учених та інженерів: Леонарда Ейлера (1707–1783), М.В. Ломоносова (1711–1765), І.П. Кулібіна (1735–1818), Д.І. Журавського (1821–1891), Ф.С. Ясинського (1856–1899), Н.А. Боголюбського (1845–1922), О.М. Крилова (1863–1945) та інших. Значний вклад в розвиток опору матеріалів як науки внесли також Лагранж, Максвелл, Кастільяно, Мор.

Наука про опір матеріалів продовжує розвиватися, уточнюються і вдосконалюються методи розрахунку. Більшість законів і висновків мають чітке математичне відбиття. Опір матеріалів як класична наука має менш абстрактний характер у порівнянні з теоретичною механікою, що досліджує закони руху абсолютно твердих тіл. Опір матеріалів вивчає поведінку реальних твердих тіл, розміри яких можуть змінюватися у процесі дії сил.

Досвід показує, що всі частини конструкцій під дією навантажень деформуються, тобто змінюють свою форму і розміри, а іноді руйнуються.

Опір матеріалів – це наука про інженерні методи розрахунку на міцність, жорсткість і стійкість елементів машин та споруд.

Міцністю називається здатність матеріалу конструкцій і їх елементів чинити опір дії зовнішніх сил не руйнуючись. В опорі матеріалів розглядають методи розрахунку елементів конструкцій на міцність.

Під жорсткістю розуміють здатність конструкцій, їх елементів протидіяти деформації (зміні розмірів і форми). Розрахунки на жорсткість гарантують, що зміни форми і розміру конструкцій і їх елементів не перевищать допустимих норм.

Під стійкістю розуміють здатність конструкції і її елементів протидіяти зусиллям, які намагаються вивести її з початкового стану рівноваги. Розрахунки на стійкість дають можливість уникнути раптової втрати стійкості і викривлення довгих або тонких деталей.

Щоб конструкція в цілому відповідала вимогам міцності, жорсткості і стійкості, необхідно придати її елементам раціональну форму і необхідні розміри – всі ці питання розглядаються в курсі "Опір матеріалів".

Наука про опір матеріалів ґрунтується на законах теоретичної механіки, в якій тіла вважаються абсолютно жорсткими, тобто не здатними до деформації. Користуючись розглянутим в теоретичній механіці принципом твердження, в опорі матеріалів для визначення реакцій опор і діючих у перерізах деталей внутрішніх сил застосовуватимемо до деформованих тіл умови рівноваги статички. Проте для розрахунків на міцність та жорсткість деякі положення теоретичної механіки виявляються непридатними, зокрема:

1) зовнішні сили, які діють на тіло, не можна замінити їх рівнодійною або еквівалентною системою сил;

2) силу не можна переносити вздовж лінії її дії;

3) пару сил не можна пересувати в площині дії пари.

Ці правила мають виняток. Так, наприклад, сили, прикладені до невеликої поверхні тіла як і в теоретичній механіці, вважатимемо зосередженими, тобто прикладеними до однієї точки; розподілені реактивні сили, прикладені до затисненого кінця балки, як і раніше, замінюватимемо реактивною силою і реактивним моментом. Такі заміни не вносять суттєвих змін в умови деформування. Це положення має назву принципу пом'якшених граничних умов або принципу Сен-Венана, за ім'ям французького вченого Сен-Венана (1797–1886).

Принцип Сен-Венана можна сформулювати так: у точках тіла, достатньо віддалених від місць прикладення зовнішніх сил, величина внутрішніх сил дуже мало залежить від конкретного способу прикладення сил. Надалі, вивчаючи окремі види деформацій, на підставі принципу Сен-Венана не будемо цікавитися конкретними способами прикладення зовнішніх сил і вважатимемо, що в місці їх прикладення внутрішні сили змінюються стрибкоподібно.

В поєднанні з аналітичними методами, розвинутими в математиці, в курсі опору матеріалів використовуються експериментальні методи, досягнення фізики і матеріалознавства.

На практиці доводиться мати справу з конструкціями складної форми, але їх можна уявити складеними з окремих простих елементів, наприклад, брусів, пластин, оболонок і масивів. Основним розрахунковим елементом в опорі матеріалів є брус, тобто тіло, поперечні розміри якого малі порівняно з

довжиною. Бруси бувають прямолінійні і криволінійні, сталого і змінного перерізу. Залежно від їх призначення в конструкції бруси називають колонами, балками, стержнями.

Плоский переріз, перпендикулярний до осі бруса, називають поперечним; переріз, паралельний осі бруса (прямолінійного) – поздовжнім; інші плоскі перерізи – похилими. Крім розрахунку брусів курс “Опір матеріалів” займається розрахунком пластин і оболонок, тобто тіл, які мають малу товщину порівняно з іншими розмірами (наприклад, резервуари, труби, обшивки кораблів та літаків). Тіла в яких всі три розміри однакового порядку, називають масивами (наприклад, фундаменти, станини верстатів).

1.2 Реальний об’єкт і розрахункова схема

Перед тим як починати розрахунки необхідно вяснити, що в даному випадку є головним, а що другорядним, тобто тим, що мало впливає на роботу системи в цілому. Другорядні фактори при розрахунках системи не враховуються.

Реальний об’єкт, звільнений від факторів, що мало впливають, називається розрахунковою схемою.

Для одного і того ж об’єкта може бути запропоновано декілька розрахункових схем в залежності від необхідної точності розрахунків і від того, яка сторона явища цікавить дослідника. Разом з тим одній і тій же розрахунковій схемі може відповідати багато різних реальних об’єктів, що дуже важливо, оскільки досліджуючи одну розрахункову схему, можна одержати рішення певного класу задач.

Вибір розрахункової схеми в опорі матеріалів починається із схематизації властивостей матеріалу, які називають гіпотезами.

1.3 Основні гіпотези і припущення

Розглянемо основні гіпотези і припущення стосовно фізико-механічних властивостей матеріалів.

1. Гіпотеза про відсутність початкових внутрішніх зусиль.

Згідно з цією гіпотезою, припускають, що коли немає причин для деформації тіла (навантаження, зміна температури), то в усіх його точках внутрішні зусилля дорівнюють нулю. Тобто, сили взаємодії між частинками ненавантаженого тіла до уваги не беруть.

2. Гіпотеза про однорідність матеріалу. Фізико-механічні властивості тіла в різних точках можуть бути неоднаковими. В опорі матеріалів ці відмінності не враховують, припускаючи, що матеріал в усіх точках тіла має однакові властивості.

3. Гіпотеза про неперервність матеріалу. Згідно з цією гіпотезою, матеріал будь-якого тіла має неперервну будову і є суцільним середовищем. Припущення про неперервну будову дає змогу використовувати при розрахунках методи вищої математики.

4. Гіпотеза про ізотропність матеріалу. Ця гіпотеза передбачає, що матеріал тіла має однакові властивості в усіх напрямках. Багато матеріалів складається з кристалів, в яких фізико-механічні властивості в різних напрямках істотно відрізняються. Проте, завдяки наявності в тілі великої кількості безладно розміщених кристалів, властивості всього тіла в різних напрямках вирівнюються.

Припущення про ізотропність добре підтверджується практикою для більшості матеріалів і лише наближено для таких матеріалів, як камінь, пластмаси, залізобетон. Матеріали, які мають неоднакові властивості в різних напрямках, називають анізотропними.

5. Гіпотеза про ідеальну пружність. Ця гіпотеза передбачає, що в певних межах навантаження матеріал виявляє ідеальну пружність, тобто після зняття навантаження деформації повністю зникають.

Розглянемо тепер гіпотези, пов’язані з деформаціями елементів конструкцій. Зміну лінійних і кутових розмірів тіла називають відповідно лінійною і кутовою деформаціями. Зміну положення (координат) точок тіла, спричинену деформацією, називають переміщенням.

6. Гіпотеза про малість деформацій. За цим припущенням деформації тіла і пов’язані з ними переміщення точок і перерізів дуже малі порівняно з розмірами тіла. На підставі цього змінами в розміщенні зовнішніх сил, спричинених деформацією, нехтують.

7. Гіпотеза про лінійну залежність між навантаженням і деформацією. Згідно з цією гіпотезою, зміщення точок і перерізів пружного тіла в певних межах навантаження прямо пропорційне силам, які спричиняють ці переміщення.

8. Гіпотеза плоских перерізів, або гіпотеза Бернуллі. Згідно з цією гіпотезою, плоскі поперечні перерізи, зроблені в тілі до деформації, залишаються під час деформації плоскими і нормальними до осі.

1.4 Види навантажень і основних деформацій