

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Ф.Л. Шевченко, С.М. Царенко

ЗАДАЧІ З ОПОРУ МАТЕРІАЛІВ

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки (інженерна механіка)

Донецьк 2011

УДК 624.04.(075.8)
Ш 37

ISBN 978-966-2539-00-4

Ф.Л. Шевченко, С.М. Царенко
Ш 37 Задачі з опору матеріалів: Навчальний посібник/ Ф.Л. Шевченко,
С.М. Царенко. – Донецьк, ФОП Бабалік А.В., 2011., - 356 с.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України, як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямом підготовки (інженерна механіка) (Гриф № 1/11 – 8441 від 09.09.10)

У посібнику наводиться широкий набір і розв’язання задач за всіма розділами курсу опору матеріалів, що передбачені навчальними і робочими програмами для підготовки спеціалістів за напрямом «Інженерна механіка».

Посібник призначений для студентів, магістрантів, аспірантів та інженерних працівників широкого профілю.

Задач 300. Табл. 20. Іл. 417. Бібліогр. 14 назв.

Рецензенти: С.Є. Блохін, д-р техн. наук, професор, зав. кафедри «Будівельна, теоретична та прикладна механіка» Національного гірничого університету України;

О.І. Бохонський, д-р техн. наук, професор кафедри «Технічна механіка та машинознавство» Севастопольського національного технічного університету;

В.П. Мущанов д-р техн. наук, професор, зав. кафедри «Теоретична та прикладна механіка» Донбаської національної академії будівництва і архітектури.

ISBN 978-966-2539-00-4 © Донецький національний технічний університет, 2011

Дев'яносторічному Ювілею
ДонНТУ присвячується

ВІД АВТОРА

За п'ятдесят вісім років роботи на кафедрі опору матеріалів Донецького національного технічного університету я пройшов довгий шлях становлення викладача та вдосконалення педагогічної майстерності від асистента до завідуючого кафедри.

Відмінна школа видатного вченого та талановитого педагога – методиста Василя Семеновича Рекшинського виховала покоління творчих викладачів вузів Донецького регіону, які продовжують традиції цієї школи постійно вдосконалюючи методику учбового процесу.

Мені випало щастя навчатися та довгі роки працювати під керівництвом чудового вчителя, наставника, людини великої культури та високих моральних якостей.

Усі нові задумки, нестандартне викладання традиційного програмного матеріалу, його розвиток за межі учбового курсу опору матеріалів, розробку нових задач та прикладів вважаю продовженням методичних пошуків свого дорогого вчителя.

Співавтор цього видання Сергій Миколайович Царенко є представником третього покоління вихованців кафедри опору матеріалів ДонНТУ.

Шевченко Ф.Л.

ПЕРЕДМОВА

Навчальний посібник є узагальненням багаторічного досвіду роботи кафедри опору матеріалів Донецького національного технічного університету. Він охоплює всі основні розділи курсу «Опір матеріалів», передбачені навчальними і робочими програмами. Теоретичне викладання, виведення розрахункових залежностей і їх доведення, розроблені на кафедрі, викладені в роботах Ф.Л. Шевченка «Механика упругих деформируемых систем, части 1, 2, 3», «Динамика упругих стержневых систем», «Будівельна механіка» та ін. В цих навчальних посібниках наведено багато прикладів розв'язання задач підвищеної складності, призначених для студентів, що поширюють і поглиблюють свої знання з розрахунків елементів конструкцій на міцність, жорсткість і стійкість, а також для аспірантів і наукових працівників.

Навчальний посібник містить задачі, що відповідають курсу опору матеріалів за напрямом «Інженерна механіка». Посібник є необхідним ілюстративним матеріалом для засвоєння теорії та практики розрахунків конструкцій та деталей машин. Представлено широке коло задач, раніше не висвітлених в навчальній літературі. До них можна віднести: обчислення переміщень у стержневих системах при розтязі-стиску та при згині; застосування формули Мора і правила Верещагіна для отримання зігнутої осі балок і рам; використання дельта-функцій Дірака для обчислення переміщень при згині; широкий набір статично невизначених рам із різними опорами та шарнірними сполученнями окремих частин.

Особлива увага приділяється динаміці стержневих систем при власних і вимушених коливаннях, динаміці систем із розподіленими параметрами, урахуванню гармонічних і ударних навантажень. Тут вперше представлений спрощений спосіб динамічного розрахунку систем із розподіленими параметрами, який заснований на відомих частотах основного тону коливань однопрольотних балок.

Представлена робота є третім виданням навчального посібника «Задачи по сопротивлению материалов» авторів кафедри опору матеріалів ДонНТУ Шевченка Ф.Л., Толкачева О.Ф., Нижніка О.В. 2000 та 2004 р.

Видання виправлено та доповнено новими матеріалами розділу 10 «Коливання пружних систем». Приведена загальна теорія коливань систем із розподіленими параметрами при наявності розподілених та зосереджених мас систем ступінчасто-змінного перерізу, коли власні функції ортогональні з вагою. Показано знаходження вагових функцій та квадрата норми для поздовжніх, крутильних та поперечних коливань.

Розділ 11 доповнений спрощеним розрахунком стержневих систем на власні та вимушені коливання за схемою невагомих стержнів із зосередженою зведеною масою та надана оцінка похибок такого спрощеного рішення.

Активну участь у підготовці посібника до третього видання прийняв канд. техн. наук Царенко С.М.

Проф. Шевченко Ф.Л.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевченко Ф.Л., Русанова О.А. Эпюры углов закручивания сечений не-весомых валов с дисками// Наукові праці ДонНТУ. Серія машинобудування і машинознавство. – 2010, - Випуск 7 (166). – С. 220-226.
2. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1970. – 544 с.
3. Филоненко-Бородич М.М., Изюмов С.М., Олисов Б.А., Кудрявцев И.Н., Мальгинов Л.И. Курс сопротивления материалов, Часть первая. – М.: ГИТТЛ, 1955. – 664 с.
4. Варвак П.М. Новые методы решения задач сопротивления материалов. – К.: - Вища школа, 1977. - 160 с.
5. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем. Часть первая. Напряженно-деформированное состояние стержней. Изд. второе. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 293 с.
6. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: ГИТТЛ, 1958. – 856 с.
7. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем. Часть вторая. Сложное сопротивление. Изд. второе. – Донецк: РВВ, 2007. – 306 с.
8. Шевченко Ф.Л. Улитин Г.М. К вопросу об устойчивости бурильных колонн буровых установок роторного типа. Захист металургійних машин від поломок: Зб. наук. пр. – Вип. 6. – Маріуполь, 2002, с. 217-223
9. Шевченко Ф.Л. Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержньових систем. – Донецьк: РІА ДонНТУ, 2000. – 293 с.
10. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
11. Улитин Г.М. К теории колебаний стержневых систем ступенчато-переменной жесткости// Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Укр. міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.. 40. – Львів: «Львівська політехніка», 2006, с. 250-254.
12. Шевченко Ф.Л. Ортогональность главных форм колебаний систем с распределенными параметрами. – Севастополь// Сборник трудов «Динаміка, надійність і довговічність механічних і біомеханічних систем та елементів конструкцій». 2009. 3 – 8 С.
13. Кисилев В.А. Строительная механика. Специальный курс (динамика и устойчивость сооружений). – М.: изд. лит. по строительству, 1964, с. 332.
14. Шевченко Ф.Л. Упрощенный динамический расчет стержневых систем с распределенными параметрами. // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. Укр. міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип.. 40. – Львів: «Львівська політехніка», 2006, с. 286-296

ЗМІСТ

	ПЕРЕДМОВА	4
1	РОЗТЯГ – СТИСК	5
1.1	Статично визначні стержньові системи	6
1.2	Статично невизначні стержньові системи	24
2	НАПРУЖЕНО – ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН	33
2.1	Плоский напружений стан	33
2.2	Об’ємний напружений стан	38
3	ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛОСКИХ ПЕРЕРІЗІВ	42
4	ЗСУВ	50
5	КРУЧЕННЯ	54
6	ЗГИН	61
6.1	Епюри внутрішніх силових факторів в балках	62
6.2	Напруження при згині	68
6.3	Переміщення при згині	78
6.3.1	Використання диференціального рівняння зігнутої осі балки	78
6.3.2	Диференціальне рівняння зігнутої осі балки четвертого порядку	91
6.3.3	Обчислення переміщень за допомогою дельта-функції Дірака	100
6.3.4	Метод початкових параметрів	107
6.3.5	Метод Мора	114
6.3.6.	Правило Верещагіна	119
6.3.7	Переміщення в статично визначних рамах	124
6.3.8	Обчислення переміщень за теоремою Бетті	128
7	СКЛАДНИЙ ОПІР	132
7.1	Неплоский та косий згин	132
7.2	Позацентровий розтяг або стиск	140
7.3	Згин з крученням	150
8	СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧНІ СТЕРЖНЬОВІ СИСТЕМИ	159
8.1	Статично невизначні балки	160
8.2	Статично невизначні рами	165
8.3	Статично невизначні стержньові системи (ферми)	175
8.4	Комбіновані системи	183
8.5	Криволінійні стержні	188
8.6	Просторове завантаження плоских стержньових систем	192
9	СТІЙКІСТЬ СТИСНУТИХ СТЕРЖНІВ	196
9.1	Стійкість невагомих стержнів	196
9.2	Стійкість вагомих стержнів	217
10	ДИНАМІЧНИЙ ВПЛИВ НАВАНТАЖЕННЯ	226
10.1	ВРАХУВАННЯ СИЛ ІНЕЦІЇ	226
10.2	КОЛИВАННЯ ПРУЖНИХ СИСТЕМ.	238
10.2.1	Коливання систем з одним ступенем вільності	238
10.2.1.1	Власні коливання систем з одним ступенем вільності	239

10.2.1.2	Вимушені коливання систем з одним ступенем вільності	246
10.2.1.3	Гармонічне навантаження в одно масових системах	251
10.2.1.4	Ударні навантаження в одно масових системах	254
10.2.2	КОЛИВАННЯ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	257
10.2.2.1	Поперечні коливання вагомих балок	257
10.2.2.2	Спектр частот власних коливань балок	259
10.2.2.3	Спектр частот власних коливань вагомих балок з пружно-податливими опорами	265
10.2.2.4	Властивості власних функцій з розподіленими параметрами	273
10.2.2.5	Власні поперечні коливання вагомих балок	281
10.2.2.6	Вимушені поперечні коливання вагомих балок	291
10.2.2.7	Ударні навантаження при поперечних коливаннях вагомих балок	295
10.2.2.8	Вимушені коливання при гармонічних навантаженнях	301
10.2.3	ПОВЗДОВЖНІ КОЛИВАННЯ ВАГОМИХ СТЕРЖНІВ	308
10.2.3.1	Властивості власних функцій повздовжніх коливань	310
10.2.3.2	Власні повздовжні коливання пружних стержнів	310
10.2.3.3	Вимушені повздовжні коливання пружних стержнів	316
10.2.4	КРУТИЛЬНІ КОЛИВАННЯ ВАГОМИХ ВАЛІВ	320
11	НАБЛИЖЕНИЙ ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРУЖНИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	322
11.1	Власні коливання пружних систем	322
11.2	Гармонічні й ударні навантаження при поперечних коливаннях	327
11.3	Повздовжні коливання та удар	331
12	СПРОЩЕНИЙ ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРУЖНИХ СТЕРЖНЬОВИХ СИСТЕМ З РОЗПОДІЛЕНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	333
	ДОДАТКИ	344
	СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	355