

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

# **МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ**

**ЗБІРНИК РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ ЗАВДАНЬ  
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

*Навчальний посібник*

Вінниця  
ВНТУ  
2021

УДК 620(075):531  
М55

Автори:

**В. А. Огородніков**, **О. В. Грушко**, **Т. Ф. Архіпова**, **С. І. Сухоруков**,  
**Т. І. Молодецька**

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол №13 від 29.04.2021 р.)

Рецензенти:

**В. А. Матвійчук**, доктор технічних наук, професор  
**В. М. Михалевич**, доктор технічних наук, професор  
**Р. Р. Обертюх**, кандидат технічних наук, професор

**Механіка** матеріалів та конструкцій. Збірник розрахунково-графічних завдань з прикладами розрахунків для самостійної роботи : навчальний посібник / [В. А. Огородніков, О. В. Грушко, Т. Ф. Архіпова та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 190 с.  
ISBN 978-966-641-877-0

Посібник призначений для студентів напрямів підготовки 131 – Прикладна механіка, 132 – Матеріалознавство, 133 – Галузеве машинобудування та 274 – Автомобільний транспорт закладів вищої освіти денної та заочної форм навчання, що вивчають механіку матеріалів та конструкцій.

УДК 620(075): 531

ISBN 978-966-641-877-0

© ВНТУ, 2021

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Основні вимоги та порядок виконання розрахункової роботи .....	5
1 СКЛАДНИЙ ОПР .....	7
1.1 Згинання з крученням. Короткі теоретичні відомості.....	8
1.1.1 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	13
Задача 1. Розрахунок вала редуктора на міцність.....	13
1.1.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	25
Задача 2. Розрахунок плоскої рами з просторовим навантаженням.....	25
2 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПРУЖНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ .....	34
2.1 Короткі теоретичні відомості.....	34
2.1.1 Узагальнена сила, узагальнене переміщення та їх відповідність .....	34
2.1.2 Визначення переміщень. Інтеграл Мора.....	38
2.1.3 Послідовність визначення переміщень за методом Мора. ....	39
2.1.4 Обчислення інтеграла Мора за способом Верещагіна .....	43
2.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	47
Задача 3. Розрахунок на міцність та жорсткість у разі згину бруса малої кривини.....	47
3 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧУВАНИХ СИСТЕМ .....	57
3.1 Короткі теоретичні відомості. Основні поняття та означення .....	57
3.1.1 Канонічні рівняння методу сил.....	60
3.1.2 Розрахунок переміщень у статично невизначуваних системах .....	63
3.1.3 Контроль правильності розв'язання статично невизначуваної системи.....	65
3.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	66
Задача 4. Розкриття статичної невизначуваності рами .....	66
4 СТІЙКІСТЬ СТИСНУТИХ СТРИЖНІВ .....	76
4.1 Короткі теоретичні відомості .....	76
4.1.1 Стійка та нестійка форма пружної рівноваги.....	76
4.1.2 Формула Ейлера для визначення критичної сили стиснутого стрижня .....	77
4.1.3 Вплив умов закріплення кінців стрижня на значення критичної сили.....	78
4.1.4 Поняття про втрату стійкості за напружень, що перевищують границю пропорційності .....	78
4.1.5 Розрахунки на стійкість за допомогою коефіцієнтів зменшення основного допустимого напруження .....	81
4.1.6 Перевірочний розрахунок стиснутих стрижнів .....	83
4.1.7 Проектувальний розрахунок .....	84
4.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	87
Задача 5. Проектувальний розрахунок на стійкість .....	87
5 РОЗРАХУНКИ ЗА УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ .....	95
5.1 Розрахунок за осьової дії ударного навантаження .....	95

5.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	98
Задача 6. Розрахунок балки за ударного навантаження .....	98
<b>6 РОЗРАХУНКИ КОНСТРУКЦІЙ НА ВИТРИВАЛІСТЬ</b> .....	<b>105</b>
6.1 Короткі теоретичні відомості.....	105
6.1.1 Явище втоми матеріалів. Характеристики циклів.....	105
6.1.2 Визначення границі витривалості. Діаграма втоми .....	108
6.1.3 Вплив конструктивно-технологічних факторів на границю витривалості.....	109
6.1.4 Розрахунок на міцність у разі повторно-змінних навантажень .....	113
6.2 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	114
Задача 7. Розрахунок вала на витривалість за згинання та кручення.....	114
<b>7 КАРТА МАТЕРІАЛУ</b> .....	<b>123</b>
7.1 Діаграма зміцнення матеріалу (крива течії).....	123
7.2 Діаграма пластичності матеріалу .....	126
7.3 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	128
Задача 8. Побудова кривої течії та діаграми пластичності.....	128
<b>8 ФРАКТОГРАФІЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> .....	<b>130</b>
8.1 Макроскопічне дослідження поверхні зломів деталей машин.....	130
8.1.1 Поняття та завдання фрактографії.....	130
8.1.2 Задачі фрактографії.....	130
8.2 Особливості будови зломів .....	138
8.3 Завдання до розрахунково-графічної роботи .....	149
Задача 9. Дослідження причин втрати роботоздатності деталей машин та конструкцій.....	149
<b>ТЕРМІНИ ТА ПОНЯТТЯ</b> .....	<b>151</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА</b> .....	<b>154</b>
<b>ДОДАТКИ</b> .....	<b>156</b>
Додаток А. Оформлення розрахунково-графічної роботи.....	157
Додаток Б. Механічні характеристики матеріалів.....	159
Додаток В. Сортамент прокатної сталі .....	162
Додаток Г. Геометричні характеристики деяких перерізів .....	170
Додаток Д. Значення інтегралів для визначення переміщень в кривих стрижнях.....	172
Додаток Е. Дані до розрахунку стиснутих стрижнів.....	173
Додаток Ж. Дані до визначення переміщень графічними методами.....	176
Додаток И. Дані до розрахунку валів.....	178
Додаток К. Співвідношення між деякими фізичними величинами в різних системах вимірювання.....	179
Додаток Л. Експериментальні дані для побудови кривої течії .....	180
Додаток М. Експериментальні дані для побудови діаграми пластичності .....	188

## ВСТУП

Навчальний посібник написано із врахуванням багаторічного досвіду викладання курсу механіки матеріалів та конструкцій у Вінницькому національному технічному університеті. Посібник відрізняється від більшості подібних видань конспективним викладенням матеріалу, його структурованістю за змістовними модулями та наявністю достатньої кількості варіантів завдань для самостійної роботи студентів із типовими розрахунками і рекомендаціями до застосування сучасних пакетів прикладних програм та комп'ютерної математики, зокрема Maple, MathCad, MathLab, Abaqus, AutoCad, Mathematical, SolidWorks тощо.

В посібнику розкрито такі важливі розділи, як складний опір (згин з крученням валів редукторів), енергетичні методи визначення переміщень, методи розкриття статичної невизначуваності систем, стійкість у разі поздовжнього згину, міцність за ударних та витривалість конструкцій за повторно-змінних навантажень, карта матеріалу та макроскопічні дослідження зломів.

Посібник призначено для студентів закладів вищої освіти напрямів підготовки 131 – Прикладна механіка, 132 – Матеріалознавство, 133 – Галузеве машинобудування та 274 – Автомобільний транспорт.

Автори прагнули створити посібник, максимально корисний студентам не лише під час вивчення дисципліни «Механіка матеріалів та конструкцій», але й в процесі курсового та дипломного проектування. Кожне із завдань ілюстроване детальним прикладом розрахунку задачі із поясненнями та посиланнями на довідкові дані.

## ПОРЯДОК ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ РОБІТ

З метою опанування дисципліни «Механіка матеріалів та конструкцій» студенти мають виконати комплекс розрахунково-графічних робіт (РГР). Цей посібник має забезпечити організацію самостійної роботи студентів (СРС).

РГР мають бути оформлені згідно з чинними стандартами Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД 2.105 і ЄСКД 2.106 для текстових конструкторських документів та ЄСКД 2.104 – для основних надписів). РГР виконуються на аркушах формату А4 (210×297 мм) основним креслярським шрифтом (стандарт 2.304-68) з висотою літер не менше 2,5 мм, машинописним або на принтері ПЕОМ (Times New Roman 14 пт., одинарний інтервал) на одній стороні аркуша. Перша сторінка протоколу оформляється за стандартом ДСТУ 2.105-95; на наступних сторінках має бути штамп згідно зі стандартом 2.104-68 (додаток А). На

титульній сторінці вказують номер РГР, назву дисципліни, прізвище та ініціали студента, варіант завдання, факультет і групу.

Допускається писати текст роботи креслярським розбірливим почерком пастою або чорнилом синього чи чорного кольору. За необхідності дозволяється виправити помилку, неправильний символ, закреслюючи його, а над ним написати виправлення. Допускається також застосування канцелярського коректора. На одній сторінці допускається не більше трьох виправлень.

Розв'язання кожної задачі бажано починати на новому аркуші у такий спосіб, щоб розрахункова схема, епюри внутрішніх силових факторів, аналітичні вирази та формули знаходились поряд. На початку сторінки пишеться номер завдання, варіант. Далі навести повну та скорочену умови задачі з вказанням невідомих параметрів та величин, які потрібно знайти. Розрахункові схеми (рисунок) виконують за допомогою креслярських приладів або відповідних пакетів прикладних графічних програм (Paint MS, Compass, AutoCAD). Розрахунки необхідно супроводжувати короткими поясненнями.

Студент має до іспиту захистити всі задачі відповідних розрахунково-графічних робіт.

Вибір варіанта завдання здійснюється за шифром, який надається викладачем. Наприклад: шифр варіанта – 310.

Варіант чисельних даних в таблиці – рядок 3.

Номер схеми рисунка – 10.

Приклад шифру в основному написі:

*ОМ.1ГМ-19.37.310*

Студенти, що не виконали або не захистили хоча б одну розрахунково-графічну роботу, не допускаються до іспиту з дисципліни «Механіка матеріалів та конструкцій».

## ЛІТЕРАТУРА

1. Беляев Н. М. Сопротивление материалов / Беляев Н. М. – М. : Наука, 1976. – 608 с.
2. Беляев Н. М. Сборник задач по сопротивлению материалов / Беляев Н. М. ; под ред. В. К. Качурина – М. : Наука, 1968. – 348 с.
3. Дарков А. В. Сопротивление материалов : учебник для вузов / А. В. Дарков, Г. С. Шпиро. – К. : Вища школа, 1975. – 654 с.
4. Дель Г. Д. Технологическая механика / Дель Г. Д. – М. : Машиностроение, 1978. – 174 с.
5. Егодуров Г. С. Руководство к решению задач по механике материалов и конструкций : [учебное пособие] / Г. С. Егодуров, Л. А. Бохоева, Б. И. Зинчеев, Д. Ц. Бальжанов. – Улан-Удэ : Изд-во ВСГТУ, 2005. – 299 с.
6. Колмогоров В. Л. Напряжения. Деформация. Разрушение / Колмогоров В. Л. – М. : Metallurgy, 1970. – 230 с.
7. Кроха В. А. Упрочнение металлов при холодной пластической деформации : справочник / Кроха В. А. – М. : Машиностроение, 1980. – 157 с.
8. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Малинин Н. Н. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
9. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении : учебное пособие / Огородников В. А. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
10. Огородников В. А. О технологическом паспорте материала заготовок поршня с шатуном аксиально-роторного поршневого насоса / В. А. Огородников, В. И. Музычук, А. В. Грушко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2004. – № 4. – С. 86-92.
11. Огородников В. А. Оценка деформируемости металлов при обработке давлением / Огородников В. А. – К. : Вища школа, 1983. – 175 с.
12. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение. (Задачи автотехнических экспертиз) : Монография / Огородников В. А., Киселев В. Б., Сивак И. О. – Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.
13. Огородніков В. А. Механіка матеріалів і конструкцій. Лабораторний практикум : навчальний посібник / Огородніков В. А., Грушко О. В., Архіпова Т. Ф. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 67 с.
14. Огородніков В. А. Механіка матеріалів і конструкцій : навчальний посібник / Огородніков В. А., Грушко О. В., Архіпова Т. Ф. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 91 с.
15. Огородніков В. А. Механіка процесів холодного формозмінювання з однотипними схемами механізму деформації / Огородніков В. А.,

- Музичук В. І., Нахайчук О. В. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 179 с.
16. Огородніков В. А. Опір матеріалів. Розрахунково-графічні завдання з прикладами розрахунків. Частина 1 : навчальний посібник / Огородніков В. А., Грушко О. В., Побережний М. І. – Вінниця : ВНТУ, 2003. – 158 с.
  17. Огородніков В. А. Опір матеріалів. Розрахунково-графічні завдання з прикладами розрахунків. Частина 2 : навчальний посібник / Огородніков В. А., Грушко О. В., Кириця І. Ю. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 146 с.
  18. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : підручник / Писаренко Г. С., Квітка О. Л., Уманський Е. С. ; за ред. Г. С. Писаренка. – 2-ге вид., допов. і переробл. – К. : Вища школа, 2004. – 655 с.
  19. Писаренко Г. С. Справочник по сопроотивлению материалов / Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. – К. : Наукова думка, 1975 – 704 с.
  20. Тимошенко С. П. Сопроотивление материалов. Том второй. Более сложные вопросы теории и задачи / Тимошенко С. П. – М. : Наука, 1965. – 480 с.
  21. Третьяков А. В. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением : справочник / А. В. Третьяков, В. И. Зюзин. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Металлургия. – 1973. – 224 с.
  22. Феодосьев В. И. Сопроотивление материалов : учебник для втузов / Феодосьев В. И. – М. : Наука, 1986. – 512 с.
  23. Френкель Я. И. Теория обратимых и необратимых трещин в твердых телах / Я. И. Френкель // Журнал технической физики. – 1952. – т. 22. – № 11. – С. 1857–1866.
  24. Фридель Ж. Дислокации / Фридель Ж. – М. : Мир, 1967. – 694 с.
  25. Griffith A. A. The Phenomena of Rupture and Flow in Solids //Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A. – 1921. – Vol.221, #2. – P.163-198.
  26. Del' G. D. Yeliseyev V. V. and other. CAD system for the elastic – medium shaping of pipe-line parts / G. D. Del', V. V. Yeliseyev // Journ. of Materials Processing Technology. – 1992. – V.35. – p.191-198.
  27. Fundamental Terms and Concepts in Mechanics of Materials. English-Russian-Ukrainian Lexicon / N. Doroshenko, M. Demenko. Ye. Puzina, A. Shevchenko, V. Demenko. Kharkiv : National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», 2010. – 760 с.



*Навчальне видання*

**Огородніков Віталій Антонович**

**Грушко Олександр Володимирович**

**Архіпова Тетяна Федорівна**

**Сухоруков Сергій Іванович**

**Молодецька Тетяна Ігорівна**

**МЕХАНІКА МАТЕРІАЛІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ**  
**ЗБІРНИК РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНИХ ЗАВДАНЬ**  
**ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

Навчальний посібник

Рукопис оформила *Т. Архіпова*

Редактор *Т. Старічек*

Оригінал-макет підготувала *О. Кушнір*

Підписано до друку 09.11.2021.

Формат 29,7×42 ¼. Папір офсетний.

Гарнітура Times New Roman.

Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 11,4

Наклад 50 (1-й запуск 1-21) пр. Зам. № 2021-116.

Видавець та виготовлювач

Вінницький національний технічний університет,  
інформаційний редакційно-видавничий центр.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021.

Тел. (0432) 65-18-06.

**press.vntu.edu.ua;**

*E-mail:* kivc.vntu@gmail.com

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.