

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ  
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Нечепасєв В.Г., Блескун В.П., Оніщенко В.П.  
Ісадченко В.С., Матеко П.М., Молібожко В.А.**

# **ДЕТАЛІ МАШИН**

## **МЕТОДИ РОЗРАХУНКІВ ЗАДАЧІ ТА ПРОБЛЕМНІ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ**

**під загальною редакцією  
докт. техн. наук, професора Нечепасєва В.Г.**

**Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України  
як навчальний посібник для студентів  
вищих навчальних закладів**

**Донецьк 2012**

**УДК 621.81:62**

**ББК 34.42**

**Д38**

Деталі машин: методи розрахунків, задачі та проблемні завдання, автоматизоване проектування: навч. посіб. для студентів ВНЗ /В.Г. Нечепасєв, В.П. Блескун, В.П. Оніщенко та ін.; під заг. ред. В.Г. Нечепасєва; Донец. нац. техн. ун-т. - Донецьк, 2012. - 404 с.

Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України як навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів (гриф № 1/11- 6463 від 21.07.2011 р.)

**Рецензенти:**

В.С. Майборода, докт. техн. наук, професор (Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”);

П.Л. Носко, докт. техн. наук, професор (Східноукраїнський національний університет імені В. Даля);

В.Т. Павлище, канд. техн. наук, професор (Національний університет „Львівська політехніка”).

**Мовна редакція:**

Н.І. Кульбіда (Донецький національний технічний університет)

Викладені теоретичні відомості по всіх розділах курсу "Деталі машин" в межах програми для студентів напрямків підготовки "Машинобудування" та "Інженерна механіка".

Наведені задачі та проблемні завдання, що дозволяють використовувати методи активізації пізнавальної діяльності студентів для розвитку творчих навиків при вивченні даної дисципліни.

Наведені відомості про поширені програмні продукти для автоматизованого проектування деталей машин.

**ISBN .....** © Донецький національний технічний університет, 2012 р.

# ЗМІСТ

|                        |    |
|------------------------|----|
| <b>ПЕРЕДМОВА</b> ..... | 9  |
| <b>ВСТУП</b> .....     | 11 |

## **I. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КУРСУ**

|  |    |
|--|----|
| <b>Розділ I. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ РОЗРАХУНКІВ<br/>ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b> ..... | 13 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| <b>Глава 1. Машинобудівні матеріали</b> .....                                  | 13 |
| 1.1. Основні властивості і механічні характеристики<br>матеріалів.....         | 13 |
| 1.2. Сталі, чавуни, сплави міді й алюмінію.....                                | 15 |
| 1.3 Термічна і хіміко-термічна обробка сталей.....                             | 18 |
| 1.4. Механічні характеристики основних машинобудівних<br>матеріалів.....       | 20 |
| <b>Глава 2. Розрахунки деталей машин на міцність</b> .....                     | 23 |
| 2.1. Загальні відомості.....   | 23 |
| 2.2. Основні критерії працездатності і розрахунку деталей<br>машин.....        | 23 |
| 2.3. Оцінка міцності при різних видах деформацій.<br>Допустимі напруження..... | 27 |
| 2.4. Зміна напружень у часі. Границя витривалості.....                         | 32 |
| 2.5. Розрахунки на міцність з урахуванням режимів<br>навантаження.....         | 38 |

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>Розділ II. З'ЄДНАННЯ</b> ..... | 43 |
|-----------------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>Глава 3. Нарізні з'єднання</b> .....   | 43 |
| 3.1. Геометричні параметри нарізи й основні типи нарізей.....                     | 44 |
| 3.2. Конструкції гвинтових з'єднань.....  | 49 |
| 3.3. Теорія гвинтової пари.....   | 49 |
| 3.4. Розрахунки нарізи на міцність.....   | 57 |
| 3.5. Розрахунки на міцність стрижня болтів у різних<br>випадках навантаження..... | 61 |
| 3.6. Розрахунки болтів з урахуванням піддатливості<br>з'єднання.....              | 66 |
| 3.7. Розрахунок гвинтів у випадку ексцентричного<br>навантаження.....             | 71 |
| 3.8. Клемові з'єднання.....   | 74 |
| 3.9. Розрахунок групових з'єднань.....  | 76 |
| 3.10. Гвинтові механізми.....   | 82 |
| 3.11. Приклади розрахунків нарізних з'єднань.....                                 | 85 |

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Глава 4. Шпонкові, зубчасті (шліцьові), профільні і штифтові з'єднання.....</b>                   | <b>95</b>      |
| 4.1. Шпонкові з'єднання. Характеристика. Розрахунок ненапружених шпонкових з'єднань на міцність..... | 95             |
| 4.2. Шліцьові (зубчасті) з'єднання. Характеристика і розрахунок на міцність .....                    | 101            |
| 4.3. Профільні з'єднання. Характеристика.....  | 105            |
| 4.4. Штифтові з'єднання. Характеристика. Розрахунок.....   | 106            |
| 4.5. Приклади розрахунків шпонкових і шліцьових з'єднань....   | 108            |
| <b>Глава 5. Заклепкові з'єднання.....</b>  | <b>111</b>     |
| 5.1. Загальні відомості.....   | 111            |
| 5.2. Розрахунок заклепкових швів.....  | 113            |
| 5.3. Приклад розрахунку заклепкового з'єднання .....   | 119            |
| <b>Глава 6. Зварні з'єднання.....</b>  | <b>121</b>     |
| 6.1. Загальні характеристики.....  | 121            |
| 6.2. Види зварних з'єднань і типи зварних швів.....  | 122            |
| 6.3. Розрахунок зварних швів.....  | 125            |
| 6.4. Приклад розрахунку зварного з'єднання.....  | 129            |
| <br><b>Розділ III. МЕХАНІЧНІ ПЕРЕДАЧІ.....</b>   | <br><b>131</b> |
| <b>Глава 7. Загальна характеристика передач.....</b>   | <b>131</b>     |
| 7.1. Призначення і класифікація.....   | 131            |
| 7.2. Основні співвідношення для кінематичних параметрів і параметрів навантаження.....               | 132            |
| 7.3. Приклад кінематичного розрахунку приводу.....   | 134            |
| <b>Глава 8. Зубчасті передачі. Загальні відомості .....</b>  | <b>138</b>     |
| 8.1. Загальна характеристика і класифікація.....   | 138            |
| 8.2. Параметри евольвентного зачеплення.....   | 139            |
| 8.3. Зубчасті зачеплення зі зміщенням вихідного контуру.....   | 146            |
| 8.4. Точність зубчастих передач.....   | 150            |
| 8.5. Конструкції зубчастих коліс. ....   | 152            |
| 8.6. Приклад розрахунку геометричних і конструктивних розмірів циліндричної передачі.....            | 155            |
| <b>Глава 9. Циліндричні зубчасті передачі.....</b>   | <b>158</b>     |
| 9.1. Сили, що діють в зачепленні циліндричних передач.....   | 158            |
| 9.2. Види руйнування зубців і критерії працездатності.....   | 159            |
| 9.3. Матеріал і термічна обробка зубчастих коліс.....  | 161            |
| 9.4. Допустимі напруження. ....  | 165            |
| 9.5. Розрахунок зубців на втомну міцність згинання.....  | 168            |
| 9.6. Розрахунок зубців на контактну втомну міцність.....   | 172            |
| 9.7. Розрахункове навантаження.....  | 176            |
| 9.8. Розрахунок зубців при короткочасних перевантаженнях....   | 180            |
| 9.9. Приклад розрахунку на міцність циліндричної косозубої передачі.....                             | 180            |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 10.</b> Конічні зубчасті передачі.....  | 187 |
| 10.1. Характеристика, геометричні параметри конічної<br>прямозубої передачі.....                 | 187 |
| 10.2. Навантаження на зубці.....   | 191 |
| 10.3. Особливості розрахунку на міцність конічних передач.....                                   | 192 |
| 10.4. Приклад проектного розрахунку конічної прямозубої<br>передачі.....                         | 194 |
| <b>Глава 11.</b> Зубчасті передачі із зачепленням Новікова.....                                  | 197 |
| 11.1. Характеристика, геометричні параметри і сфера<br>застосування.....                         | 197 |
| 11.2. Особливості розрахунків на міцність зубців<br>зубчастих передач Новікова.....              | 201 |
| <b>Глава 12.</b> Планетарні передачі.....  | 204 |
| 12.1. Характеристика і кінематика.....   | 204 |
| 12.2. Особливості розрахунку на міцність планетарних<br>передач.....                             | 205 |
| <b>Глава 13.</b> Хвильові зубчасті передачі.....   | 208 |
| 13.1. Характеристика, геометричні параметри і сфера<br>застосування.....                         | 208 |
| 13.2. Особливості розрахунку на міцність зубців хвильових<br>передач.....                        | 210 |
| <b>Глава 14.</b> Черв'ячні передачі.....   | 212 |
| 14.1. Загальна характеристика.....   | 212 |
| 14.2. Геометрія черв'ячних передач.....  | 212 |
| 14.3. Навантаження зубців. Коефіцієнт корисної дії.....  | 216 |
| 14.4. Розрахунок зубців на міцність.....   | 218 |
| 14.5. Вибір матеріалів для черв'ячних коліс і черв'яків.<br>Визначення допустимих напружень..... | 223 |
| 14.6. Конструювання черв'ячних коліс і черв'яків.....  | 225 |
| 14.7. Тепловий розрахунок черв'ячної передачі.....   | 227 |
| 14.8. Приклад розрахунку черв'ячної передачі.....  | 228 |
| <b>Глава 15.</b> Пасові передачі.....  | 235 |
| 15.1. Класифікація й основні характеристики .....  | 235 |
| 15.2. Кінематика пасових передач. Основні геометричні<br>залежності.....                         | 238 |
| 15.3. Сили і напруження в пасах.....   | 241 |
| 15.4. Розрахунок плоскопасових передач на тягову здатність.....                                  | 246 |
| 15.5. Особливості розрахунку клинопасових передач.....   | 249 |
| 15.6. Приклади розрахунку пасових передач.....   | 252 |
| <b>Глава 16.</b> Ланцюгові передачі.....   | 258 |
| 16.1. Загальні відомості і класифікація.....   | 258 |
| 16.2. Кінематика і геометрія ланцюгової передачі.....  | 261 |
| 16.3. Критерії працездатності і розрахунки на міцність.....                                      | 264 |

|  |            |
|--|------------|
| <b>Розділ IV. ВАЛИ Й ОСІ. ПІДШИПНИКИ. МУФТИ.....</b>   | <b>267</b> |
| <b>Глава 17. Вали й осі.....</b>   | <b>267</b> |
| 17.1. Конструкція валів й осей. Критерії працездатності.....   | 267        |
| 17.2. Орієнтовне визначення діаметра вала (осі).....   | 269        |
| 17.3. Розробка розрахункової схеми вала і визначення діючих на вал навантажень.....  | 271        |
| 17.4. Проектний розрахунок вала та його конструювання.....   | 274        |
| 17.5. Перевірний розрахунок вала.....  | 276        |
| 17.6. Приклад розрахунку вала.....   | 283        |
| <b>Глава 18. Підшипники.....</b>   | <b>291</b> |
| 18.1. Підшипники кочення. Характеристика і класифікація. Види руйнування.....  | 291        |
| 18.2. Розподіл навантаження між тілами кочення. Контактні напруження у підшипниках.....  | 299        |
| 18.3. Розрахунок підшипників кочення за динамічною і статичною вантажопідйомністю. Визначення еквівалентного навантаження. Вибір підшипників кочення | 302        |
| 18.4. Підшипники ковзання.....   | 311        |
| 18.5. Приклад розрахунку підшипників кочення.....  | 321        |
| <b>Глава 19. Муфти приводів.....</b>   | <b>323</b> |
| 19.1. Характеристика і класифікація.....   | 323        |
| 19.2. Муфти некеровані (сполучні).....   | 324        |
| 19.3. Муфти керовані (зчіпні).....   | 328        |
| 19.4. Муфти самокеровані.....  | 333        |
| 19.5. Приклад розрахунку муфти пружної втулково-пальцевої (МПВП).....  | 334        |

## II. ЗАДАЧІ І ПРОБЛЕМНІ ЗАВДАННЯ

|  |            |
|--|------------|
| <b>Розділ V. З'ЄДНАННЯ.....</b>  | <b>336</b> |
| <b>Глава 20. Нарізні з'єднання.....</b>                                  | <b>336</b> |
| <b>Глава 21. Шпонкові, зубчасті (шліцьові) і штифтові з'єднання.....</b> | <b>338</b> |
| <b>Глава 22. Заклепкові з'єднання.....</b>                               | <b>339</b> |
| <b>Глава 23. Зварні з'єднання.....</b>                                   | <b>341</b> |
| <b>Розділ VI. МЕХАНІЧНІ ПЕРЕДАЧІ.....</b>                                | <b>343</b> |
| <b>Глава 24. Зубчасті передачі.....</b>                                  | <b>343</b> |
| <b>Глава 25. Черв'ячні передачі.....</b>                                 | <b>348</b> |
| <b>Глава 26. Пасові передачі.....</b>                                    | <b>349</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Розділ VII. ВАЛИ Й ОСІ. ПІДШИПНИКИ. МУФТИ.....</b> | <b>350</b> |
| <b>Глава 27. Вали.....</b>                            | <b>350</b> |
| <b>Глава 28. Підшипники.....</b>                      | <b>351</b> |
| <b>Глава 29. Муфти приводів.....</b>                  | <b>353</b> |

### **ІІІ. АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

|  |            |
|--|------------|
| <b>Розділ VIII. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО<br/>АВТОМАТИЗОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ.....</b>                            | <b>354</b> |
| <b>Глава 30. Методи і засоби оптимального проектування.....</b>  | <b>354</b> |
| 30.1. Визначення оптимальних параметрів.....   | 354        |
| 30.2. Автоматизоване проектування на базі САПР.....  | 356        |
| <b>Розділ IX. СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО<br/>ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....</b>                             | <b>358</b> |
| <b>Глава 31. APM WINMACHINE.....</b>   | <b>358</b> |
| 31.1. APM Graph - 2D креслярський графічний редактор.....  | 360        |
| 31.2. APM Studio - модуль твердотільного і поверхневого<br>моделювання об'єктів.....                       | 361        |
| 31.3. APM BASE - модуль створення і редагування баз<br>даних.....  | 363        |
| 31.4. Масиви для збереження інформації про стандартні<br>вироби і довідкові дані (бази даних).....         | 364        |
| 31.5. Інструменти кінцево-елементного аналізу.....   | 365        |
| 31.6. APM Trans -модуль проектування механічних передач<br>обертання.....                                  | 367        |
| 31.7. APM Shaft - модуль проектування валів і осей.....  | 369        |
| 31.8. APM Bear - модуль розрахунку і проектування<br>підшипників кочення.....                              | 371        |
| 31.9. APM Drive - модуль автоматизованого проектування<br>приводу обертового руху довільної структури..... | 372        |
| 31.10. APM Joint - модуль проектування з'єднань<br>елементів машин.....                                    | 374        |
| 31.11. APM Plain - модуль проектування підшипників<br>ковзання.....  | 375        |
| 31.12. APM Screw - модуль проектування й автоматизованого<br>розрахунку неідеальних гвинтових передач..... | 376        |
| 31.13. APM Spring - модуль проектування пружних<br>елементів машин.....                                    | 378        |
| 31.14. APM Cam - модуль проектування кулачкових механізмів..   | 379        |
| 31.15. APM Slider - модуль проектування плоских важільних<br>механізмів довільної структури.....           | 380        |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Глава 32. MDESIGN</b> .....  | 381 |
| 32.1. Модуль розрахунку статично невизначених балок.....                | 381 |
| 32.2. Модуль розрахунку валів.....                                      | 381 |
| 32.3. Модуль розрахунку циліндричних зубчастих передач.....             | 383 |
| 32.4. Модуль розрахунку конічних зубчастих передач.....                 | 384 |
| 32.5. Модуль розрахунку черв'ячних передач.....                         | 386 |
| 32.6. Модуль розрахунку клинопасових передач.....                       | 387 |
| 32.7. Модуль розрахунку роликкових ланцюгових передач.....              | 390 |
| 32.8. Модуль розрахунку підшипників.....                                | 390 |
| 32.9. Модуль розрахунку з'єднань.....                                   | 393 |
| 32.10. Модуль аналізу і розрахунку допоміжних величин і параметрів..... | 394 |
| <b>Глава 33. КОМПАС</b> .....   | 397 |
| 33.1. Розрахунок механічних передач.....                                | 397 |
| 33.2. Розрахунок валів.....   | 400 |
| 33.3. Розрахунок підшипників кочення.....                               | 401 |
| 33.4. Розрахунок пружин.....  | 401 |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ І РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....            | 403 |