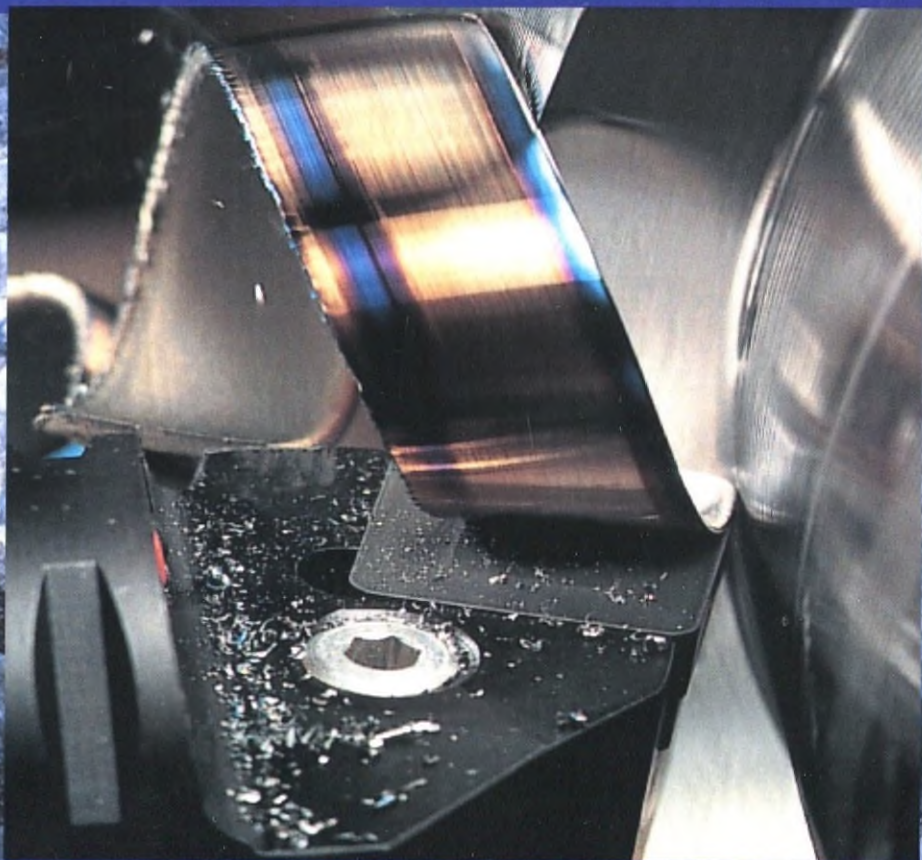


621.91

0.75

М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, А.І. Грабченко,  
В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов,  
Ф.Я. Якубов

# Основи теорії різання матеріалів



Підручник

М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко, В. Л.  
Доброскок, В. О. Залога, Ю. К. Новосолов, Ф. Я. Якубов

# Основи теорії різання матеріалів

Підручник

*Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник  
для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за  
напрямами підготовки «Інженерна механіка» та  
«Машинобудування»*

«Новий Світ - 2000»  
Львів 2018

УДК 621.91. (075.8)  
ББК 34.63- 1я73  
М 75

Затверджено Міністерством освіти і науки України як підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування». Лист № 1/11-4006 від 10.06.2009.

Рецензенти: доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, лауреат Державної премії України С. А. Клименко  
доктор технічних наук, професор, директор Інституту промислових технологій, дизайну та менеджменту Одеського національного політехнічного університету В. М. Тонконогий

Рекомендовано до друку Вченими радами Запорізького національного технічного університету (Протокол №3 від 10.11.2008 року) та Хмельницького національного університету (Протокол №5 від 19.11.2008 року).

Видання 3-є перероблене і доповнене

М 75 Мазур М. П. та інш.

Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник [для виш. навч. закладів] / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, А. І. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. О. Залого, Ю. К. Новосьолов, Ф. Я. Якубов ; під заг. ред. М. П. Мазура. - 3-є вид. перероб. і доп. - Львів : Новий Світ-2000, 2018.-471 с.

В підручнику висвітлені основні процеси, що мають місце при обробленні різанням різних матеріалів, як то: кінематика процесів оброблення, геометричні параметри лез інструментів та зрізуваного шару, стружкоутворення, контактні явища на поверхнях інструменту, теплові процеси, зношування інструментів, формування обробленої поверхні заданої якості. Подані рекомендації щодо раціональної експлуатації інструментів та призначення оптимальних режимів різання. Розглянуті особливості різання на сучасному автоматизованому устаткуванні, оброблюваності матеріалів та способів її покращення, в тому числі: вібраційне різання, різання з підігрівом, тощо. Приведений аналіз особливостей надшвидкісного оброблення матеріалів, а також мікро- і нанорізання у нанометричному діапазоні деталей та інструментів.

Для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за спеціальностями «Прикладна механіка» та «Галузеве машинобудування», а також магістрів, аспірантів машинобудівних спеціальностей та інженерно-технічних працівників машинобудівних підприємств.

© Мазур М. П., Внуков Ю. М., Грабченко А. І., Доброскок В. Л.,  
Залого В. О., Новосьолов Ю. К., Якубов Ф. Я., 2018  
© ХНУ, оригінал макет, 2018, © ЗПТУ, оригінал макет, 2018  
© «Новий Світ-2000», ФОП Піча С. В., 2018

ISBN 978-966-418-105-8

## ЗМІСТ

<b>1. ВСТУП</b> .....	3
1.1 Місце і значення оброблення різанням серед інших методів формування поверхонь деталей.....	3
1.2 Історія розвитку науки про різання металів.....	5
<b>2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ, ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕОРІЇ РІЗАННЯ МАТЕРІАЛІВ</b> .....	9
2.1 Класифікація основних способів і видів оброблення поверхонь різанням.....	9
2.2 Елементи конструкції і геометричні параметри різальної частини інструмента (на прикладі токарного різця).....	16
2.2.1 Інструментальні геометричні параметри леза різця (кути загострення).....	18
2.2.2 Статичні кути різальної частини різця.....	20
2.2.3 Кінематичні (робочі) кути різальної частини інструмента.....	24
2.2.4 Особливості вибору геометричних параметрів різального леза токарних різців.....	25
2.3 Елементи режиму різання і розміри зрізаного шару при обточуванні.....	28
2.4 Кінематика процесу, елементи конструкції, геометричні параметри гвинтового свердла і характеристики перерізу зрізаного шару при свердлінні.....	31
2.5 Кінематика процесу, елементи конструкції, геометричні параметри інструментів і характеристики перерізу зрізаного шару при фрезеруванні.....	36
2.5.1 Схеми різання і характеристики перерізу зрізаного шару при фрезеруванні циліндричними фрезами.....	39
2.5.2 Схеми різання і характеристики перерізу зрізаного шару при фрезеруванні торцевими фрезами.....	43
2.6 Елементи конструкції і геометричні параметри протяжки. Кінематика процесу та характеристики перерізу зрізаного шару при протягуванні.....	44
2.7 Кінематика процесу, елементи конструкції і геометричні параметри різальної частини мітчика. Характеристики перерізу зрізаного шару при нарізанні різьби мітчиком.....	50
Список літератури до розділу 2.....	56
<b>3. ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ</b> .....	57
3.1 Вимоги, що висуваються до інструментальних матеріалів.....	57
3.2 Інструментальні сталі.....	59
3.2.1 Вуглецеві і леговані інструментальні сталі.....	59
3.2.2 Швидкорізальні сталі.....	59
3.3 Тверді сплави.....	63
3.3.1 Вольфрамо-кобальтові сплави (ВК).....	63
3.3.2 Титано-вольфрамо-кобальтові сплави (ТК).....	65
3.3.3 Титано-тантало-вольфрамо-кобальтові сплави (ТТК).....	65
3.3.4 Безвольфрамові (титанові) тверді сплави (БВТС).....	66
3.3.5 Короткі рекомендації з вибору твердих сплавів.....	67
3.3.6 Міжнародна класифікація сучасних інструментальних матеріалів за стандартом ISO і визначення умов ефективного використання твердих сплавів.....	68

3.4 Різальна кераміка.....	73
3.5 Надтверді матеріали інструментального призначення.....	75
3.5.1 Особливості одержання інструментальних матеріалів на основі алмаза і кубічного нітриду бору.....	75
3.5.2 Основні властивості та області застосування полікристалів синтетичного алмазу (ПКА).....	78
3.5.3 Основні властивості та області застосування ПНТМ на основі щільних модифікацій нітриду бору BN.....	79
3.6 Інструментальні матеріали зі зносостійкими покриттями.....	80
Список літератури до розділу 3.....	84
<b>4. ОСНОВИ ФІЗИКИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....</b>	<b>85</b>
4.1 Деякі відомості про пластичну деформацію металів.....	85
4.2 Способи вивчення зони утворення стружки.....	90
4.3 Типи стружок при різанні пластичних і крихких матеріалів.....	92
4.4 Процес утворення зливної стружки при прямокутному вільному різанні.....	96
4.5 Схема утворення зливної стружки з єдиною площиною зсуву. Визначення степеню деформації стружки.....	100
4.6 Особливості косокутного і невільного різання.....	107
4.7 Схема утворення елементної стружки.....	110
4.8 Методи моделювання процесів деформації при різанні пластичних матеріалів.....	112
4.9 Трибологія процесу різання матеріалів.....	115
4.10 Наростоутворення при різанні матеріалів.....	124
4.11 Контактні явища на задній поверхні інструмента.....	128
4.12 Взаємозв'язок явищ у процесі стружкоутворення.....	135
Список літератури до розділу 4.....	140
<b>5. СТАТИКА І ДИНАМІКА ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....</b>	<b>144</b>
5.1 Сила і потужність при різанні.....	144
5.1.1 Система сил при різанні.....	144
5.1.2 Теоретичні методи розрахунку сил різання.....	148
5.1.3 Експериментальні прилади і методи вимірювання складових сил різання. Побудова емпіричних формул для їх визначення.....	159
5.1.4 Закономірності впливу умов різання на силу і потужність різання.....	162
5.1.5 Практичне використання силових залежностей. Розрахунок сил і потужності для різних видів оброблення.....	169
5.2 Коливання при різанні (динаміка різання).....	184
5.2.1 Вимушені коливання.....	184
5.2.2 Автоколивання при різанні.....	184
5.2.3 Вплив умов різання на інтенсивність автоколивань.....	188
5.2.4 Вплив коливань при різанні на стійкість інструментів і якість обробленої поверхні.....	189
5.2.5 Способи гасіння автоколивань.....	191
Список літератури до розділу 5.....	193
<b>6. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ.....</b>	<b>195</b>
6.1 Джерела виділення тепла і його баланс при різанні матеріалів.....	195
6.2 Експериментальні методи дослідження теплових процесів при різанні.....	197

6.3 Аналітичні методи розрахунку температурних полів у системі різання.....	205
6.3.1 Аналітичний метод розв'язання задачі теплопровідності у різальному лезі.....	205
6.3.2 Метод джерел теплоти.....	206
6.4 Методи числового моделювання теплових явищ.....	216
6.5 Середня температура різання і вплив на неї основних факторів процесу оброблення.....	223
6.5.1 Залежність температури різання від умов оброблення.....	224
6.5.2 Оптимальна температура різання.....	227
Список літератури до розділу 6.....	231
<b>7 . РУЙНУВАННЯ І ЗНОШУВАННЯ РІЗАЛЬНОЇ ЧАСТИНИ ІНСТРУМЕНТІВ. СТІЙКІСТЬ ІНСТРУМЕНТІВ</b> .....	<b>234</b>
7.1 Працездатність інструментів.....	234
7.2 Втрата працездатності через недостатню міцність різальної частини інструмента.....	234
7.2.1 Крихке руйнування леза.....	235
7.2.2 Пластичне руйнування різального леза.....	239
7.3 Зношування різальної частини інструмента.....	241
7.3.1 Зовнішній прояв зношування різальної частини інструмента.....	242
7.3.2 Фізична природа зношування різального інструменту.....	246
7.3.3 Критерії зношування різальних інструментів.....	253
7.3.4 Рекомендації із призначення максимально допустимою зношування інструментів.....	256
7.4 Стійкість інструмента і швидкість різання, що допускається його різальними властивостями.....	259
7.4.1 Основні поняття про стійкість інструмента. Методи одержання стійкісних залежностей.....	259
7.4.2 Вплив умов оброблення на період стійкості інструмента.....	263
7.5 Діагностика стану різального леза інструмента.....	269
7.5.1. Стратегії контролю.....	273
7.5.2. Приклад системи діагностики лезового оброблення.....	275
7.5.3. Приклад системи діагностики процесу шліфування.....	277
Список літератури до розділу 7.....	279
<b>8. ФОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ У ПРОЦЕСІ РІЗАННЯ</b> .....	<b>282</b>
8.1 Поняття якості поверхні, обробленої різанням. Геометричні показники якості.....	282
8.2 Природа утворення шорсткості обробленої поверхні.....	285
8.2.1 Вилив параметрів процесу різання на шорсткість обробленої поверхні.....	287
8.3 Механізми формування фізико-механічних властивостей поверхневого шару.....	289
8.3.1 Зміцнення поверхневого шару.....	289
8.3.2 Формування залишкових напружень.....	291
8.3.3 Структурно-фазові зміни у матеріалі виробу.....	293
8.4 Вплив основних показників якості на експлуатаційні властивості дета-	

лей.....	293
8.4.1 Вплив шорсткості.....	293
8.4.2 Вплив зміцнення (мікротвердості) поверхневого шару.....	294
8.4.3 Вплив залишкових напружень.....	295
8.4.4 Вплив структури поверхневого шару.....	295
Список літератури до розділу 8.....	296
<b>9. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ПРО СИСТЕМУ РІЗАННЯ ТА ЇЇ СКЛАДОВІ.....</b>	<b>298</b>
9.1 Поняття про систему різання.....	298
9.2 Робочий процес, як фізико-хімічна взаємодія елементів процесу різання.....	302
Список літератури до розділу 9.....	303
<b>10. ВИЗНАЧЕННЯ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ.....</b>	<b>304</b>
10.1 Основні правила вибору послідовності визначення елементів режимів різання.....	304
10.2 Загальні методичні вказівки для розрахунку режимів різання при точінні, свердлінні, фрезеруванні.....	305
10.2.1 Вихідні дані.....	305
10.2.2 Вибір устаткування.....	305
10.2.3 Вибір різального інструменту.....	306
10.2.4 Призначення глибини різання.....	306
10.2.5 Розрахунок (вибір) періоду стійкості інструмента.....	307
10.2.6 Критерії оптимізації при визначенні режимів різання і призначенні стійкості різального інструменту.....	307
10.2.7 Аналітичний спосіб розрахунку режиму різання.....	308
10.2.8 Табличний спосіб розрахунку режимів різання.....	311
10.2.9 Розрахунок режимів різання за допомогою теоретичних прогнозуючих моделей.....	313
10.3 Розрахунок режимів різання для багатоінструментного оброблення на автоматизованому обладнанні.....	313
10.4 Особливості розрахунку режимів різання при обробленні на верстатах із ЧПК.....	315
Список літератури до розділу 10.....	318
<b>11. ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....</b>	<b>320</b>
11.1 Постановка задачі оптимізації.....	320
11.2 Види критеріїв оптимізації параметрів процесу різання.....	320
11.3 Приклади використання економічних критеріїв для оптимізації режиму різання.....	323
11.3.1 Оптимізація режиму різання тільки по швидкості різання.....	323
11.3.1.1 Визначення швидкості різання і періоду стійкості, якщо зв'язок між ними монотонний і може бути описаний степенною функцією.....	323
11.3.1.2 Визначення швидкості різання і періоду стійкості, якщо зв'язок між ними немонотонний.....	326
11.3.2 Оптимізація режиму різання по подачі і швидкості різання.....	327
11.3.2.1 Визначення подачі і швидкості різання, якщо зв'язок між ними і періодом стійкості монотонний і може бути описаний степенною функцією.....	327
11.3.2.2. Визначення подачі і швидкості різання, якщо зв'язок	

між швидкістю різання і періодом стійкості немонотонний.....	329
11.4 Використання технологічних критеріїв для оптимізації процесу різання.....	332
11.5 Особливості оптимізації процесу різання при наявності технологічних обмежень.....	332
Список літератури до розділу 11.....	334
<b>12. МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУВАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ СЕРЕДОВИЩА ПРИ ОБРОБЛЕННІ РІЗАННЯМ.....</b>	<b>335</b>
12.1 Мастильна дія МОТС.....	335
12.2 Охолоджувальна дія МОТС.....	339
12.3 Зміцнююча дія МОТС.....	342
12.4 Руйнуюча (розклинююча) дія МОТС.....	344
12.5 Миюча дія МОТС.....	345
12.6 Захисна дія МОТС.....	346
12.7 Застосування газових середовищ у якості МОТС.....	346
12.8 Застосування металевих розплавів і суспензій порошків у якості МОТС.....	349
12.9 Тверді і пластичні мастильні матеріали.....	350
12.10 Способи подачі технологічних середовищ у зону різання.....	351
12.11 Принципи вибору оптимальних технологічних засобів. їх асортимент і області застосування.....	357
Список літератури до розділу 12.....	360
<b>13. ПРОЦЕСИ АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ.....</b>	<b>362</b>
13.1 Абразивні матеріали та інструменти.....	362
13.1.1 Абразивні матеріали.....	363
13.1.2 Порошки з синтетичних алмазів і кубічного нітриду бору.....	365
13.1.3 Абразивні інструменти.....	365
13.2 Види шліфування. Елементи режиму різання при шліфуванні.....	368
13.2.1 Зовнішнє кругле шліфування.....	368
13.2.2 Внутрішнє кругле шліфування.....	369
13.2.3 Плоске шліфування.....	370
13.2.4 Безцентрове шліфування.....	371
13.3 Особливості абразивного оброблення матеріалів.....	371
13.4 Основи будови абразивних інструментів.....	372
13.4.1 Розподіл розмірів абразивних зерен.....	373
13.4.2 Кількість зерен в одиниці об'єму абразивного інструменту.....	376
13.4.3 Кількість зерен на одиниці площі робочої поверхні абразивного інструменту.....	376
13.4.4 Розподіл вершин зерен на робочій поверхні.....	377
13.4.5 Кількість зерен на одиниці довжини робочої поверхні.....	380
13.5 Закономірності процесу різання одиничним зерном.....	380
13.5.1 Дуга контакту шліфувального зерна із заготовкою.....	381
13.5.2 Миттєві параметри зрізаного шару при шліфуванні.....	382
13.5.3 Параметри шару, що зрізується одним абразивним зерном.....	383
13.6. Закономірності знімання матеріалу при абразивному обробленні.....	384
13.7 Сили різання і потужність при шліфуванні.....	389
13.8 Теплові явища при абразивному обробленні і методи керування ними.....	389
10.8.1 Особливості теплових явищ при шліфуванні.....	390



10.8.2	Основні шляхи регулювання теплових процесів.....	390
13.9	Особливості процесу алмазного шліфування.....	391
13.9.1.	Алмазне шліфування матеріалів звичайної твердості.....	391
13.9.2.	Особливості алмазного шліфування надтвердих матеріалів.....	392
13.10	Зношування абразивних інструментів і методи відновлення їх різальних властивостей.....	394
13.10.1	Особливості зносу абразивних зерен.....	394
13.10.2	Особливості відновлення різальної здатності шліфувальних кругів.....	395
13.10.3	Правка шліфувальних кругів.....	396
13.10.4	Формотворення робочої поверхні абразивних інструментів на струмопровідних зв'язках у процесі роботи.....	396
13.10.5	Період стійкості шліфувальних кругів.....	397
13.11	Призначення режимів різання при шліфуванні.....	398
13.12	Викінчуально-абразивні методи оброблення.....	399
13.12.1	Хонінгування.....	399
13.12.2	Суперфінішування.....	399
13.12.3	Доведення.....	400
13.12.4	Полірування і стрічкове шліфування.....	400
13.12.5	Вібробразивне оброблення.....	401
13.12.6	Магнітно-абразивне оброблення.....	401
13.12.7	Оброблення потоком вільного абразиву.....	402
13.13	Високопродуктивні і комбіновані процеси абразивного оброблення.....	402
13.13.1	Глибинне і швидкісне шліфування.....	402
13.13.2	Абразивне оброблення з використанням ультразвукових коливань.....	402
Список літератури до розділу 13.....		404
<b>14. ОБРОБЛЮВАНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ РІЗАННЯМ.....</b>		<b>407</b>
14.1	Основні характеристики оброблюваності та методи їх визначення.....	407
14.2	Методи визначення оброблюваності.....	408
14.3	Основні фактори, що впливають на оброблюваність матеріалів різанням і способи її поліпшення.....	411
14.3.1	Введення спеціальних добавок на стадії металургійного виробництва.....	411
14.3.2	Зміна структури матеріалів термічним обробленням.....	413
14.3.3	Застосування мастильно-охолоджувальних технологічних середовищ (МОТС).....	413
14.3.4	Введення у зону різання додаткової енергії.....	414
14.3.4.1	Різнання з попереднім підігрівом оброблюваного матеріалу.....	414
14.3.4.2	Введення у зону різання додаткових вимушених коливань (вібраційне різання).....	415
14.3.4.3	Різнання з попереднім пластичним деформуванням (ППД).....	417
14.3.	5 Надшвидкісне різання.....	417
Список літератури до розділу 14.....		422
<b>15. ПРОЦЕСИ МІКРО- І НАНОРІЗАННЯ.....</b>		<b>424</b>
15.1.	Основні поняття й визначення.....	424
15.2.	Нанооб'єкти системи нанорізнання та їх розмірний діапазон.....	426
15.3.	Способи одержання і види наноструктурованих матеріалів.....	427

15.4. Нанотехнології у виготовленні різальних інструментів як на- нооб'єктів системи різання.....	429
15.5. Основні властивості наноматеріалів системи нанорізання.....	429
15.5.1. Фактори, що визначають особливі властивості наноматеріалів.....	429
15.5.2. Властивості оброблюваних наноматеріалів.....	431
15.5.3. Властивості інструментальних наноматеріалів і нано- покрить.....	433
15.6. Умови реалізації процесу нанорізання.....	435
15.7. Процеси, що відбуваються в системі нанорізання матеріалів.....	436
15.7.1. Особливості механізмів взаємодії інструменту з поверх- нями заготовки й стружкою в нанометричному діапазоні.....	436
15.7.2. Трансформація механізмів руйнування матеріалів при стружкоутворенні в системах нанорізання.....	438
15.7.3. Алмазне нанообточування крихких матеріалів.....	440
15.8. Моделювання процесів нанорізання матеріалів.....	442
15.8.1. Загальна характеристика методу молекулярної динаміки в процесах моделювання нанорізання.....	443
15.8.2. Можливості застосування методу MD до вивчення процесів нанорізання матеріалів.....	444
15.8.3. Моделювання процесів нанорізання в пластичному режимі стружкоутворення.....	446
15.8.4. Моделювання процесу нанорізання крихких матеріалів.....	448
15.8.5. Сили різання, температура й напруження при нанорізанні.....	450
15.9. Особливості різання наноструктурованих матеріалів.....	454
15.10. Порівняння процесів традиційного й мікро- нанорізання.....	456
Список літератури до розділу 15.....	458
<b>ПІСЛЯМОВА. Перспективи розвитку науки про різання.....</b>	<b>462</b>
<b>Зміст.....</b>	<b>465</b>