

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	9
ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗІЇ .....	11
Розділ I. ВИСОТНІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ .....	15
I.1. Загальні відомості про геометричне нівелювання III і IV класів .....	15
I.1.1. Призначення державної нівелірної мережі .....	15
I.1.2. Класифікація державної нівелірної мережі .....	16
I.1.3. Особливості нівелірної мережі у містах, населених пунктах та на будівельних майданчиках .....	19
I.1.4. Складання проекту нівелірної мережі .....	21
I.1.5. Нівелірні знаки .....	22
I.2. Прилади, що використовують для геометричного нівелювання III, IV класів .....	26
I.2.1. Головні вимоги до нівелірів, що використовують для нівелювання III, IV класів .....	26
I.2.2. Головні вимоги до нівелірних рейок .....	29
I.2.3. Будова, перевірки та дослідження нівелірів із рівнями .....	30
I.2.4. Будова, перевірки та дослідження нівелірів з компенсаторами .....	38
I.2.5. Електронні цифрові нівеліри. Тотальні нівелірні станції .....	43
I.2.6. Перевірки та дослідження нівелірних рейок .....	48
I.2.7. Визначення ціни поділки циліндричного рівня та збільшення зорової труби за допомогою рейки .....	55
I.2.8. Дослідження руху фокусувальної лінзи .....	58
I.3. Виконання нівелювання III та IV класів. Похибки та точність нівелювання .....	67
I.3.1. Послідовність роботи на станції під час нівелювання III класу .....	67
I.3.2. Послідовність роботи на станції під час нівелювання IV класу .....	70
I.3.3. Похибки нівелювання. Їхнє зменшення та усунення .....	71
I.3.4. Точність нівелювання III, IV класів .....	82
I.4. Зрівноваження нівелірних ходів та мереж .....	85
I.4.1. Зрівноваження висот окремого нівелірного ходу .....	85
I.4.2. Зрівноваження нівелірної мережі з однією вузловою точкою .....	88
I.4.3. Зрівноваження перевищень нівелірних мереж методом еквівалентної заміни .....	89
I.4.4. Зрівноваження висот нівелірних мереж методом еквівалентної заміни .....	92
I.4.5. Зрівноваження нівелірних мереж способом послідовних наближень (спосіб вузлів) .....	93
I.4.6. Зрівноваження нівелірної мережі порівнянням нев'язок суміжних ходів .....	96
I.4.7. Зрівноваження нівелірної мережі методом В.В. Попова .....	98
Розділ II. ПЛАНОВІ ГЕОДЕЗИЧНІ МЕРЕЖІ .....	101
II.1. Методи створення планових мереж. Основні вимоги. Формули .....	101
II.1.1. Сучасні методи створення планових мереж .....	101
II.1.2. Основні положення створення планових державних геодезичних мереж (ДГМ) .....	106
II.1.3. Астрономо-геодезична мережа 1 класу (АГМ-1) .....	107
II.1.4. Основні вимоги до державної мережі 2 класу .....	107
II.1.5. Основні вимоги до державної мережі згущення 3 класу .....	108
II.1.6. Розрядні мережі згущення .....	110
II.1.7. Класифікація полігонометрії .....	115
II.1.8. Формули для обчислення кутових та лінійних нев'язок у ходах полігонометрії .....	116
II.1.9. Поздовжні та поперечні похибки витягнутого полігонометричного ходу .....	119
II.1.10. Основні розрахункові формули очікуваних поздовжніх похибок траверсних та віддалемірних полігонометричних ходів .....	120

П.1.11. Виведення розрахункової формули поперечної похибки висячого полігонометричного ходу .....	125
П.1.12. Виведення формули поперечної похибки полігонометричного ходу з попередньо ув'язаними кутами.....	128
П.1.13. Полігонометричні знаки .....	130
П.1.14. Організація полігонометричних робіт.....	134
П.2. Лінійні вимірювання У траверсній полігонометрії.....	136
П.2.1. Прилади для вимірювання ліній у траверсній полігонометрії .....	136
П.2.2. Виконання лінійних вимірювань підвісними мірними приладами.....	138
П.2.3. Джерела похибок під час вимірювання ліній підвісними мірними приладами...	141
П.2.4. Розрахунок допусків на окреме джерело похибок лінійних вимірів .....	142
П.3. Кутові вимірювання У полігонометрії.....	148
П.3.1. Основні вимоги до кутомірних приладів у полігонометрії. Класифікація теодолітів та тахеометрів.....	148
П.3.2. Відлікові пристрої оптичних кутомірних приладів. Їхнє призначення та класифікація .....	156
П.3.3. Принцип роботи автоматичних систем відліків електронних теодолітів та тахеометрів.....	161
П.3.4. Будова оптичних та електронних теодолітів та тахеометрів .....	168
П.3.5. Перевірки теодолітів .....	173
П.3.6. Вимірювання горизонтальних кутів способом кругових прийомів .....	178
П.3.7. Вимірювання горизонтальних кутів способом повторень .....	186
П.3.8. Вимірювання горизонтальних кутів електронними теодолітами (тахеометрами) .....	189
П.3.9. Джерела похибок вимірювання горизонтальних кутів .....	191
П.3.10. Розрахунок допуску сумарної випадкової похибки вимірювання окремого горизонтального кута .....	193
П.3.11. Розрахунок допустимої величини систематичної похибки вимірювання окремого кута .....	194
П.3.12. Похибка редуції .....	195
П.3.13. Похибки центрування теодоліта .....	198
П.3.14. Методи зменшення похибок редуції та центрування.....	200
П.3.15. Похибки вимірювання горизонтальних кутів .....	202
П.3.16. Інструментальні (приладні) похибки.....	205
П.3.17. Вплив зовнішнього середовища на вимірювання горизонтальних кутів .....	208
П.4. Попереднє опрацювання результатів польових вимірювань в полігонометрії .....	210
П.4.1. Попереднє опрацювання лінійних вимірів.....	210
П.4.2. Редукування довжин ліній на рівень моря і на площину Гаусса-Крюгера.....	211
П.4.3. Опрацювання результатів кутових вимірювань на окремому геодезичному пункті.....	214
П.4.4. Оцінка точності лінійних вимірювань за результатами польових робіт .....	215
П.4.5. Оцінка точності кутових вимірювань за результатами польових робіт .....	217
П.5. Прив'язувальні роботи у полігонометрії .....	218
П.5.1. Види та завдання прив'язувальних робіт. Способи прив'язування .....	218
П.5.2. Передавання координат із високих (недоступних) точок на Землю (знесення координат).....	219
П.5.3. Пряма одноразова та багаторазова засічки .....	220
П.5.4. Обернена одноразова кутова засічка (задача Потенота).....	222
П.5.5. Диференційні формули дирекційних кутів .....	224
П.5.6. Обернена багаторазова кутова засічка .....	226
П.5.7. Точність прямої та оберненої багаторазових кутових засічок .....	228

П.5.8. Точність прямої та оберненої одноразових кутових засічок .....	229
П.5.9. Лінійна геодезична засічка .....	232
П.5.10. Визначення координат двох точок за відомими координатами двох інших точок (задача Ганзена) .....	234
П.5.11. Прив'язування пунктів полігонометрії до постійних об'єктів місцевості. Відшукування полігонометричних пунктів .....	235
П.6. Світловіддалемірна полігонометрія. Основи теорії й практики світловіддалемірних вимірювань.....	240
П.6.1. Класифікація віддалемірної полігонометрії та віддалемірів .....	240
П.6.2. Принцип вимірювання віддалі визначенням часу поширення електромагнітних (світлових) хвиль .....	240
П.6.3. Основні відомості з теорії гармонічних коливань .....	242
П.6.4. Поняття про модулювання коливань .....	245
П.6.5. Принцип роботи фазових світловіддалемірів .....	246
П.6.6. Блок-схема візуального світловіддалеміра з визначенням різниці фаз за екстремумами світлового потоку .....	248
П.6.7. Блок-схема світловіддалеміра на фіксованих частотах із парафазним фотоелектронним визначенням різниці фаз .....	250
П.6.8. Світловіддалемір топографічний СТ-5 (“Блеск”). Будова. Імпульсний метод вимірювання віддалей .....	253
П.6.9. Перевірки світловіддалеміра СТ-5 .....	257
П.6.10. Вимірювання ліній світловіддалеміром СТ-5 .....	262
П.6.11. Вимірювання ліній та вертикальних кутів компактною тотальною станцією SET-GE .....	263
П.6.12. Похибки світловіддалемірних вимірювань .....	265
П.6.13. Розрахунок точності ходів світловіддалемірної полігонометрії .....	269
П.7. Оптично-віддалемірна полігонометрія .....	272
П.7.1. Принцип роботи та класифікація оптичних віддалемірів .....	272
П.7.2. Віддалемір із постійним базисом та змінним кутом .....	274
П.7.3. Віддалеміри подвійного зображення .....	276
П.7.4. Суть паралактичної полігонометрії .....	279
П.7.5. Суть віддалемірно-базисної полігонометрії.....	281
П.7.6. Типи паралактичних і віддалемірно-базисних ланок .....	282
П.8. Строге зрівноваження полігонометричних ходів .....	283
П.8.1. Недоліки спрощених методів зрівноваження .....	283
П.8.2. Кількість вимірів та невідомих у полігонометричному ході. Необхідні та надлишкові виміри .....	285
П.8.3. Виведення формул, що зв'язують поздовжній та поперечний зсуви ходу з нев'язками по осях координат .....	286
П.8.4. Виведення умовних рівнянь, що виникають у полігонометричному ході, прокладеному між відомими пунктами.....	288
П.8.5. Строге зрівноваження довільного полігонометричного ходу корелатним методом .....	293
П.8.6. Строге зрівноваження витягнутого полігонометричного ходу корелатним методом .....	296
П.8.7. Строге зрівноваження витягнутого рівностороннього полігонометричного ходу.....	298
П.8.8. Приклад зрівноваження витягнутого полігонометричного ходу корелатним методом (способом найменших квадратів) .....	300
П.8.9. Суть параметричного методу зрівноваження геодезичних мереж.....	305
П.9. Зрівноваження полігонометричних мереж .....	309

II.9.1. Зрівноваження полігонометричної мережі, що збігаються в одну вузлову точку.....	309
II.9.2. Зрівноваження полігонометричної мережі способом послідовних наближень.....	311
II.9.3. Зрівноваження полігонометричної мережі методом еквівалентної заміни.....	313
II.9.4. Зрівноваження кутів полігонометричної мережі методом професора В.В. Попова.....	316
II.9.5. Зрівноваження приростів координат полігонометричних мереж методом професора В.В. Попова.....	318
II.9.6. Оцінка точності полігонометричних ходів та мереж за результатами зрівноваження.....	320
Розділ III. ПРОСТОРОВІ СУПУТНИКОВІ МЕРЕЖІ (ОСНОВИ СУПУТНИКОВОЇ ГЕОДЕЗІЇ) .....	322
III.1. Будова та принцип роботи геодезичних супутникових систем.....	322
III.1.1. Принцип роботи систем визначення просторового положення точок.....	322
III.1.2. Найважливіші відомості про будову глобальних навігаційних систем.....	325
III.1.3. Основи теорії визначення положення пунктів глобальними супутниковими системами.....	332
III.1.4. Абсолютні та відносні методи супутникового вимірювання.....	338
III.1.5. Основні відомості про параметри орбіт супутників.....	342
III.1.6. Загальний принцип побудови супутникових передавачів системи GPS.....	345
III.1.7. Структурна схема геодезичного супутникового приймача.....	347
III.1.8. Короткі відомості про роботу системи керування та опрацювання вимірів приймачем GPS.....	350
III.2. Супутникові методи визначення координат.....	352
III.2.1. Технології GPS-вимірювання.....	352
III.2.2. Статичний метод визначення координат пунктів.....	354
III.2.3. Параметри місії, тривалість та довжини векторів під час роботи у статичному режимі.....	356
III.2.4. Визначення координат методом “стій/йди” (“stop and go”).....	357
III.2.5. Вибір проміжку часу та параметри місії під час спостереження у режимі “стій/йди” (“stop and go”).....	358
III.2.6. Визначення координат методом “швидкої статики”.....	359
III.2.7. Технологія псевдостатична, псевдокінематична, реокупаційна (geosuppression).....	360
III.2.8. Робота у режимі “кінематика”.....	361
III.2.9. Робота у режимі “кінематика у польоті”.....	361
III.2.10. Технологія диференційного DGPS-вимірювання (Differential GPS).....	363
III.3. Побудова державних геодезичних мереж (ДГМ) супутниковими методами.....	364
III.3.1. Загальні відомості про побудову ДГМ супутниковими методами.....	364
III.3.2. Системи координат, що використовуються у космічній геодезії.....	367
III.3.3. Проектування та рекогностування просторових супутникових геодезичних мереж (СГМ).....	372
III.3.4. Складання робочого проекту.....	377
III.3.5. Підготування комплексу приладів до польового вимірювання.....	381
III.3.6. Будова та технічні характеристики компактного одночастотного приймача GPS ProMark-2.....	383
III.3.7. Підготування приймача Pro Mark-2 до роботи та виконання спостережень на геодезичному пункті.....	389
III.3.8. Застосування режиму “стій/йди” для визначення просторових координат під час топографічного знімання місцевості.....	397
III.3.9. Загальні відомості про опрацювання GPS-вимірів.....	402

III.4. Основні джерела похибок супутникових вимірів і методи послаблення їхнього впливу .....	404
III.4.1. Класифікація джерел похибок супутникових вимірів .....	404
III.4.2. Джерела похибок, пов'язані з неточними ефемеридами супутників та методи послаблення їх впливу.....	405
III.4.3. Оцінка впливу зовнішнього середовища на результати супутникового вимірювання .....	408
III.4.4. Вплив іоносфери .....	409
III.4.5. Вплив тропосфери.....	413
III.4.6. Багатошляховість .....	415
III.4.7. Інструментальні джерела похибок.....	417
III.4.8. Геометричний фактор.....	420
Розділ IV. ВЕЛИКОМАСШТАБНЕ ТОПОГРАФІЧНЕ ЗНІМАННЯ .....	422
IV.1. Загальні відомості про великомасштабне топографічне знімання.....	422
IV.1.1. Топографічні плани та карти .....	422
IV.1.2. Мета та призначення топографічного знімання.....	425
IV.1.3. Методи топографічного знімання. Їхня суть .....	427
IV.1.4. Обґрунтування вибору перерізу рельєфу.....	430
IV.1.5. Обґрунтування масштабу знімання .....	432
IV.1.6. Технічний проект топографо-геодезичних робіт .....	440
IV.2. Робочі (знімальні) мережі великомасштабного топографічного знімання.....	441
IV.2.1. Види геодезичної основи великомасштабного знімання. Розрахунок необхідної щільності робочої основи.....	441
IV.2.2. Методи створення знімальної (робочої) основи. Закріплення пунктів мережі на місцевості .....	445
IV.2.3. Аналітичні мережі (польові роботи) .....	446
IV.2.4. Розрахунок точності ланки трикутників аналітичної мережі .....	448
IV.2.5. Спрощені способи зрівноваження аналітичних мереж.....	450
IV.2.6. Розрахунок планової точності та допустимої довжини мензульного ходу .....	453
IV.2.7. Розрахунок точності та допустимої довжини теодолітного ходу.....	455
IV.2.8. Розрахунок планової точності та допустимої довжини тахеометричного ходу.....	456
IV.2.9. Технічне нівелювання для створення робочої основи топографічного знімання .....	458
IV.2.10. Тригонометричне нівелювання для створення висотної знімальної основи ...	459
IV.2.11. Вимірювання зенітних віддалей. Вертикальна рефракція.....	462
IV.3. Комбіноване топографічне знімання .....	468
IV.3.1. Виконання аерофотозніманин.....	468
IV.3.2. Складання накладного монтажу. Оцінка якості аерофотознімання.....	475
IV.3.3. Технологічна схема комбінованого методу знімання.....	476
IV.3.4. Прив'язування знімків.....	478
IV.3.5. Польові роботи під час аеротопографічного знімання .....	481
IV.3.6. Маркування розпізнавальних знаків .....	481
IV.3.7. Планове підготування аерознімків .....	482
IV.3.8. Висотне підготування аерознімків .....	483
IV.3.9. Камеральне згущення планових та висотних точок. Мета. Суть. Методи .....	485
IV.3.10. Редукування фототріангуляційної мережі.....	489
IV.3.11. Трансформування знімків .....	491
IV.3.12. Складання фотопланів .....	491
IV.3.13. Складання графічних планів.....	492

IV.4. Знімання рельєфу та дешифрування фотопланів під час комбінованого методу топознімання.....	493
IV.4.1. Встановлення мензули над точкою .....	493
IV.4.2. Польове та камеральне дешифрування .....	494
IV.4.3. Послідовність роботи на станції під час рисування рельєфу й дешифрування фотопланів .....	495
IV.4.4. Основні офіційні вимоги до точності зображення контурів та рельєфу.....	497
IV.4.5. Камеральні роботи під час знімання рельєфу на фотопланах (калька висот, викреслювання польового оригіналу, формуляр трапеції).....	499
IV.4.6. Зведення за рамками суміжних топографічних планів.....	500
IV.4.7. Контроль робіт та приймально-здавальні роботи .....	501
IV.5. Стереoaерофотограмметричне знімання .....	503
IV.5.1. Загальні відомості про стереoaерофотограмметричне знімання .....	503
IV.5.2. Технологічна схема стереофотограмметричного методу знімання.....	505
IV.5.3. Сучасні станції аналітичної фотограмметрії .....	506
IV.6. Цифрове аерознімання .....	507
IV.6.1. Цифрова аерознімальна система .....	507
IV.6.2. Порівняння технічних можливостей фотограмметричної та цифрової камер. Опрацювання цифрових знімків системою ADS40 .....	509
IV.6.3. Цифрові аерознімальні комплекси із лазерним скануванням .....	511
<b>Розділ V. АВТОМАТИЗАЦІЯ НАЗЕМНИХ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ.</b>	
<b>ЦИФРОВІ ПЛАНИ ТА КАРТИ.....</b>	<b>516</b>
V.1. Автоматизація топографо-геодезичних робіт .....	516
V.1.1. Основні напрямки та технології автоматизації топографо-геодезичного вимірювання .....	516
V.1.2. Автоматизація визначення висот .....	518
V.1.3. Автоматизація визначення планового положення точок.....	519
V.1.4. Автоматизація визначення просторового положення точок .....	521
V.1.5. Автоматизовані динамічні топографічні системи .....	524
V.1.6. Автоматизовані лазерно-паралактичні топографічні системи .....	525
V.1.7. Електронна тахеометрія.....	526
V.1.8. Автоматичні координатографи .....	528
V.1.9. Перетворювачі аналогової інформації на цифрову .....	528
V.1.10. Наземні лазерні сканери .....	530
V.2. Цифрові плани та карти.....	532
V.2.1. Загальні відомості про цифрові моделі місцевості .....	532
V.2.2. Вимоги до цифрових карт та планів .....	535
V.2.3. Поняття про кодування топографо-геодезичної інформації (ТГІ).....	536
V.2.4. Алгоритми опрацювання польової інформації.....	538
V.2.5. Алгоритми формування моделі ситуації (МС).....	540
V.2.6. Алгоритм формування моделі рельєфу (МР).....	541
V.2.7. Диференційні перетворення або ортофототрансформування .....	544
V.2.8. Поняття про цифрову фотограмметрію та цифровий фотограмметричний знімок .....	549
V.2.9. Сканування фотознімків.....	552
V.2.10. Цифрові фотокамери.....	554
V.2.11. Цифрові фотограмметричні станції.....	555
Список літератури .....	559

## ПЕРЕДМОВА

Відповідно до навчальних планів вищих геодезичних закладів дисципліна “Геодезія”, що є базовою для геодезичних спеціальностей, вивчається протягом першого та другого курсів. На першому курсі вивчається перша частина курсу, яка достатньо обґрунтовано називається “Топографією”, на другому курсі – “Геодезія”. Відмінність між топографією та геодезією буде висвітлена у підручнику.

У курсі “Геодезія”, як і в курсі “Топографія”, автори, з метою полегшення засвоєння предмета студентами, окремо розглядають питання висотних та планових геодезичних мереж, а також просторових (супутникових) мереж, і тільки потім переходять до питань сумісного використання цих мереж як математичної основи створення графічних та цифрових топографічних планів та карт. Саме такої послідовності дотримувались видатні вчені, педагоги, професори Н.Н. Загубський, М.В. В’яхірев, А.Д. Моторний, автори перших підручників з геодезії, виданих українською мовою ще до Другої світової війни.

У другій частині геодезії вивчаються питання:

- створення висотних мереж методами геометричного нівелювання III, IV класів та технічного нівелювання;
- створення геодезичних планових мереж методами триангуляції, полігонометрії, трилатерації;
- створення просторових геодезичних мереж глобальними супутниковими системами;
- створення знімальної (робочої) основи та виконання топографічних аерофото та цифрових аерознімів у масштабах 1:5000–1:500;
- автоматизації топографічних і геодезичних робіт, створення цифрових карт та планів.

Зауважимо, що на другому курсі вивчаються переважно методи аерознімання, тоді як на першому курсі головна увага акцентована на наземному топографічному зніманні. Відповідно до питань, які розглядає друга частина геодезії, підручник має п’ять розділів:

- |             |                                                               |
|-------------|---------------------------------------------------------------|
| РОЗДІЛ I.   | Висотні геодезичні мережі.                                    |
| РОЗДІЛ II.  | Планові геодезичні мережі.                                    |
| РОЗДІЛ III. | Просторові супутникові мережі (основи супутникової геодезії). |
| РОЗДІЛ IV.  | Великомасштабне топографічне знімання.                        |
| РОЗДІЛ V.   | Автоматизація наземних топографо-геодезичних робіт.           |
- Цифрові плани та карти.

---

Особливістю цього підручника є поєднання методів класичної наземної та супутникової геодезії. Незважаючи на значні переваги супутникової геодезії, її не можна застосувати всередині споруд, у лісових регіонах, важко використовувати між висотними забудовами. Тому класична геодезія не втрачає свого значення. Окрім того, в недалекому майбутньому можна очікувати поєднання методів наземної та супутникової геодезії. Такі поєднання в одному приладі уже існують. Про це йтиметься в підручнику.

Геодезія – наукова дисципліна, тісно пов’язана з роботою на місцевості. Навчити студента “оволодіти місцевістю” – одне з найважливіших завдань викладання геодезії. Кінцевим продуктом геодезичних виробничих підприємств є плани та карти. Тому геодезист передовсім повинен уміти створювати карти та плани, які, нарівні з писемністю, дають надзвичайно широку й важливу інформацію, необхідну для розв’язання різноманітних практичних і наукових задач.

Цей підручник не має на меті замінити практикум з геодезії. Проте у ньому, поряд з описом теоретичних питань, відведено чимало місця на практичні основи геодезії.

Студенти геодезичних спеціальностей на II курсі уже мають достатні знання з вищої математики та вивчають математичну обробку геодезичних вимірів, що дає змогу викладати геодезію на II курсі на ґрунтовній математичній основі. Саме тому багато питань у підручнику викладено значно ширше, ніж цього вимагає навчальна програма.

Водночас автори намагалися доступно описувати прилади та методи виконання вимірювання, пояснювати складні, проміжні математичні перетворення під час виведення формул, щоб полегшити студентам освоєння курсу.

Проте деякі розділи підручника, вивчення яких передбачено на старших курсах як спецдисциплін, для уникнення дублювання та забезпечення міжпредметних зв’язків викладені тільки в обсязі, достатньому для розуміння суті. Звичайно, це полегшує студентам навчання на старших курсах.

Автори будуть вдячні читачам за пропозиції та зауваження, спрямовані на покращання підручника.

*Заслужений діяч науки і техніки України,  
д-р техн. наук, професор*

*А.Л. Островський*



## ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗІЇ

Геодезія – прикладна математична наука, що вивчає методи визначення:

- форми та розмірів планети Земля;
- її гравітаційного поля;
- зміни цих параметрів у просторі та часі;

а також методи:

- побудови мереж пунктів з єдиною системою просторових координат;
- виконання, на основі цих пунктів, топографічного знімання, створення паперових та цифрових планів та карт;
- розв’язування наукових та інженерних задач.

Студенти уже знають, що дослівно з грецької мови слово “геодезія” перекладається як “землерозділення”. Проте точніше дає змогу відтворити суть геодезичної науки слово “землевимірювання”. Нагадаємо, що “геометрія” дослівно перекладається з грецької як “землевимірювання”, а не як “землерозділення”. Отже, слово “землевимірювання” найкоротше, найповніше і найкраще відтворює зміст науки “геодезія”.

Під дійсною поверхнею Землі розуміють її фізичну поверхню, на якій виконуються наземні вимірювання, тобто поверхню суші і незбурену поверхню морів, океанів та озер.

У завдання вищої геодезії не входить безперервне визначення фізичної поверхні Землі, наприклад, у вигляді карт. Цим займаються інші розділи геодезії – топографія, аерознімання. Основне завдання вищої геодезії формулюють як визначення положення деякої мережі опорних точок у єдиній системі координат. На основі цієї мережі і вивчаються форми й розміри планети Земля, її гравітаційне поле, а за зміною координат пунктів цієї мережі вивчається зміна названих параметрів у просторі та часі. Саме ці питання вивчає частина геодезії, яку називають вищою геодезією.

Наведене тут ширше визначення предмета геодезії (не вищої геодезії) охоплює ще і методи топографічного знімання, які вивчає наука “геодезія”. І це небезпідставно, оскільки “топографія” є частиною “геодезії”.

Отже, доходимо висновку, що геодезія складається з двох основних частин: *вищої геодезії* та *топографії*. Вища геодезія вивчає уявну поверхню, так звану рівневу поверхню сили ваги Землі, а топографія вивчає частинами дійсну поверхню Землі. Дуже важливу роль у геодезії відіграє поверхня *геоїда*, тобто рівнева поверхня поля сили тяжіння (сили ваги), що проходить через початок

---

відліку висот. Ця поверхня близька до незбуреного середнього рівня океанів і з'єднаних із ними морів. Тому часто на це вказують, навіть даючи визначення геоїда. Через різницю температур і солоності води в різних частинах Світового океану і з деяких інших причин поверхня геоїда строго не збігається зі вказаною рівневою поверхнею. За деякими оцінками, такі відхилення можуть сягати 1 м. Ця обставина змушує розрізняти поверхню геоїда і так звану топографічну поверхню океанів та морів.

Зауважимо ще, що геодезія може бути розділена не на дві, а на декілька наукових дисциплін:

1. Вища геодезія.
2. Топографія.
3. Аерофотогеодезія і фотограмметрія.
4. Прикладна (інженерна) геодезія.
5. Геодезична гравіметрія.
6. Геодезична астрономія.
7. Космічна геодезія.
8. Картографія.
9. Геодезичне приладобудування.
10. Економіка й організація геодезичних робіт.

Геодезія спирається, передусім, на математичні дисципліни. Крім того, для вивчення геодезії важливо знати фізику, особливо оптику і фізику атмосфери, геофізику, геоморфологію. Геодезія тісно пов'язана з астрономією. Геодезія необхідна геології, геофізиці, приладознавству, геоботаніці, інженерним наукам. Будівництво залізниць, шосе, каналів, метро вимагають знання геодезії. Геодезія дуже потрібна військовій та морській справі.

Історичний аспект розвитку геодезії й уявлень людства про форму й розміри Землі висвітлено в топографії. Тут ми тільки вкажемо, що в розвитку геодезії можна виділити найважливіші етапи.

*Перший етап*, коли давні індуси, вавілоняни й греки до Піфагора (VI ст. до н. е.) вважали Землю *плоскою*, або *плоско-опуклою*, і такою, що тримається на підпірках. Піфагор (580–500 рр. до н. е.) припустив, що Земля, як “найдосконаліше тіло”, має форму кулі, а його сучасник Парменід пояснив, що ніяких підпірок у Землі немає, усі тіла з різних боків падають на Землю, а їй, виходить, падати немає куди. Великий грецький учений Арістотель (384–322 рр. до н. е.) довів кулеподібність Землі за формою тіні на диску Місяця під час місячних затемнень. Є відомості, що ще до Арістотеля були спроби визначити розміри земної кулі. Так, халдейські вчені визначили довжину кола Землі у 24000 миль

---

(миля дорівнювала 4000 крокам верблюда). Як це було визначено – невідомо. Обґрунтував розміри Землі як кулі Ератосфен (276–196 рр. до н. е.).

З цього періоду і до кінця XVII віку – *другий етап*. Землю вважали кулею. Останні століття рабовласницького суспільства, тобто період володарювання й розпаду Римської імперії, не внесли нічого істотного в історію розвитку геодезії. Під час наступних семи століть центр наукової думки перемістився до арабських країн. У 829 р. арабські вчені визначили розміри Землі. Результат цього визначення виявився близьким до сучасних даних: для дуги в  $1^\circ$  за меридіаном араби отримали 111,8 км. З епохи великих геофізичних відкриттів починається період нового природознавства. Від цього періоду, пов'язаного з іменами голландського математика та фізика Снелліула (1580–1626), французького академіка Пікара (1620–1682), англійського фізика й математика Ньютона (1642–1727) бере початок і нова геодезична наука.

*Третій етап* – кінець XVII і до середини XIX століття, коли Землю вважали *приплюснутою кулею*, тобто *сфероїдом* (сфероїдальність Землі доведена Ньютоном).

*Четвертий етап*, коли наука дійшла висновку, що сфероїд – тільки друге наближення до істинної фігури Землі. Цій істинній фігурі у 1873 році німецький фізик І.В. Лістінг дав спеціальну назву – *геоїд* (землеподібний).

*П'ятий* – сучасний етап. Детально вивчається геоїд, квазігеоїд, у різних країнах визначаються відхилення геоїда від деяких еліпсоїдів із певними розмірами і у певний спосіб орієнтованими в тілі Землі. Такі еліпсоїди, що мають мінімальні відхилення від геоїда на території певної країни, називають *референц-еліпсоїдами*. Еліпсоїд, що забезпечував би мінімальні відхилення від геоїда по всій поверхні Землі, називається *загальноземним еліпсоїдом*. Такий еліпсоїд практично вже знайдений насамперед завдяки космічній геодезії, яка започаткована 4 жовтня 1957 р. із запуском першого у світі штучного супутника Землі.

Сьогодні супутникові технології, які є могутнішими засобами, ніж наземна геодезія, для вивчення форми та розмірів Землі, її гравітаційного поля, тобто поля сили ваги. Технології космічної (супутникової) геодезії дають також змогу визначати взаємне положення точок земної поверхні, будувати просторові опорні геодезичні мережі і виконувати топографічне знімання з метою складання планів та карт.

Відзначимо деякі особливості сучасної геодезичної науки. Це:

1. Значне підвищення точності вимірювань з  $1 \times 10^{-6}$  до  $1 \times 10^{-7}$ – $1 \times 10^{-8}$ .
2. Можливість вивчати не тільки координати  $X$ ,  $Y$ ,  $H$  точок, але й їхні зміни  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta H$  у просторі й часі за повторними вимірами.

---

3. Перехід від статичної тривимірної геодезії до чотиривимірної кінематичної геодезії, яка вивчає зміни положень точок земної поверхні та елементів земного гравітаційного поля, а далі – до динамічної геодезії, яка не тільки вивчає кінематику (рух точок), але й сили, що є причиною цих рухів [12].

4. Небувала автоматизація геодезичних робіт.

5. Перехід від контактних методів вивчення Землі до дистанційних.

6. Перехід від аналогових (графічних) до цифрових планів та карт.

Тільки сучасну геодезію називають інформативною. Насправді це не так. Геодезія завжди була інформативною, на будь-якій стадії свого розвитку. Проте не можна не погодитися з тим, що сучасна геодезія стала інформативнішою.