

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ОСНОВИ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ	9
1.1. Класифікація геодезичних вимірювань	9
1.2. Завдання та сфери застосування геодезичних вимірювань	9
1.2.1. Вища геодезія	9
1.2.2. Інженерна геодезія	12
1.2.3. Землевпорядкування та кадастр	13
1.2.4. Геоінформаційні системи	14
1.2.5. Навігація	15
1.2.6. Наукові дослідження	15
1.3. Геодезичні вимірювання та опрацювання даних у міждисциплінарному контексті	16
1.4. Одиниці вимірювання в геодезії	17
1.4.1. Актуальні визначення довжини та часу	17
1.4.2. Одиниці вимірювання кутів	19
1.4.3. Геодезична та математична система координат	20
1.5. Основний принцип виконання геодезичних вимірювань	21
1.6. Формули оцінки точності вимірювань	21
1.6.1. Прості математичні моделі апріорної оцінки точності вимірювань	22
1.6.2. Вплив перевищення на горизонтальну проєкцію віддалі	22
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ КООРДИНАТ, ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ПРОЄКЦІЇ	24
2.1. Глобальні системи координат	24
2.2. Просторові системи координат	25
2.2.1. Просторова декартова система координат	25
2.2.2. Циліндричні координати	26
2.2.3. Сферичні координати	27
2.2.4. Еліпсоїдальні координати	28
2.2.5. Топоцентрична система координат	30
2.3. Референцні системи координат	31
2.4. Картографічні проєкції	34
2.4.1. Номенклатура топографічних карт	35
2.5. Українська державна система координат	37
2.5.1. Геодезична система координат СК42/СК63	38
2.5.2. Національна геодезична система координат України УСК2000	40
2.6. Орієнтування ліній (північні напрямки)	42
2.7. Визначення координат за картою	44
2.8. Трансформація координат на площині (2D)	45
2.8.1. Двовимірне перетворення	45
2.8.1.1. Зміщення початку системи координат у напрямку X та Y	45
2.8.1.2. Поворот координатних осей	46
2.8.1.3. Масштабний коефіцієнт	47
2.8.1.4. Повне двовимірне пряме та зворотне перетворення координат	47

2.8.2. Числове обчислення параметрів перетворення	48
2.8.2.1. Числове визначення параметрів перетворення з використанням 2-х пунктів, відомих у двох системах координат.....	48
2.8.2.2. Числове визначення параметрів перетворення з використанням більше ніж 2-х пунктів, відомих у двох системах координат.....	49
РОЗДІЛ 3. БАЗОВІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАНЬ ВІДДАЛЕЙ ТА НАПРЯМІВ.....	51
3.1. Встановлення геодезичного приладу над пунктом	51
3.1.1. Встановлення штатива над геодезичним пунктом	52
3.1.1.1. Центрування геодезичного приладу	54
3.1.1.2. Горизонтування геодезичного приладу	55
3.1.2. Процедура приведення приладу в робочий стан з використанням оптичного або лазерного центрира	56
3.1.3. Центрування приладів на геодезичних пунктах примусового центрування	58
3.2. Вимірювання напрямів і кутів	58
3.2.1. Вимірювання напрямів.....	59
3.2.2. Вимірювання вертикальних та зенітних кутів	61
3.2.3. Умови осей електронного тахеометра	64
3.2.3.1. Вплив колімаційної похибки на вимірювані горизонтальні напрями	65
3.2.3.2. Вплив неперпендикулярності горизонтальної та вертикальної осей на вимірювані напрями	66
3.2.3.3. Вплив нахилу вертикальної осі на вимірювані напрями.....	67
3.2.3.4. Підсумок щодо впливу приладових похибок на вимірювані кутові напрями	70
3.3. Вимірювання віддалей за допомогою електромагнітних хвиль	70
3.3.1. Метод імпульсного вимірювання віддалей	72
3.3.2. Метод фазового вимірювання віддалей.....	73
3.3.3. Приладово зумовлені похибки вимірювання віддалі	75
3.3.3.1. Поправка відбивача та розробка “ідеального” відбивача.....	76
3.3.3.2. Частотна поправка.....	78
3.3.3.3. Метеорологічна поправка.....	79
3.4. Редукція вимірюваних віддалей	81
3.4.1. Призначення редукції вимірюваної віддалі	81
3.4.2. Приладово зумовлені поправки вимірюваної віддалі	81
3.4.3. Метеорологічні поправки вимірюваної віддалі.....	81
3.4.4. Геометричні поправки вимірюваної віддалі	82
3.4.4.1. Редукція віддалі на рівневу поверхню	83
3.4.4.2. Редукція віддалі за зенітними кутами	84
3.4.4.3. Редукція сферичної віддалі D_0 у проєкційну систему (Гаусса-Крюгера).....	85
3.4.4.4. Вплив рефракції та кривини Землі на вимірювану віддаль.....	87

3.4.4.5. Взаємне, одночасне спостереження зенітних віддалей для визначення коефіцієнта рефракції	88
3.4.5. Вимірювання горизонтальних та похилих віддалей за допомогою сучасних тахеометрів	89
РОЗДІЛ 4. ГЕОДЕЗИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ	90
4.1. Визначення геодезичної системи координат	90
4.2. Пряма геодезична задача (ПГЗ)	91
4.3. Обернена геодезична задача (ОГЗ)	92
4.3.1. Правило знаків під час обчислення приростів координат	93
4.4. Опорні мережі інженерної геодезії	94
4.4.1. Геодезична мережа для будівництва лінійної споруди	95
4.4.2. Геодезична мережа для будівництва промислового об'єкта	95
4.5. Наземні методи згущення геодезичних мереж	96
4.5.1. Визначення координат одиничного пункту	96
4.5.1.1. Пряма кутова геодезична засічка	97
4.5.1.2. Комбінована пряма кутова засічка	99
4.5.1.3. Визначення координат перетину двох прямих	99
4.5.1.4. Лінійна засічка	100
4.5.1.5. Обернена кутова засічка	102
4.5.1.6. Розв'язання ОКЗ за Коллінзом	103
4.5.1.7. Розв'язання ОКЗ за Кассіні	104
4.5.1.8. Розв'язання ОКЗ аналітично	105
4.6. Вільна станція (обернена лінійно-кутова засічка)	106
4.7. Полігонометричні методи визначення координат	108
4.7.1. Вільний полігонометричний хід	108
4.7.2. Полігонометричний хід, прив'язаний з одного боку за координатами та напрямками	108
4.7.3. Полігонометричний хід, прив'язаний з обох боків за координатами	109
4.7.3.1. Обчислювальна модель полігонометричного ходу	111
4.7.4. Полігонометричний хід, прив'язаний з обох боків за координатами та напрямками	113
4.7.5. Зімкнутий полігонометричний хід	114
4.8. Використання полігонометричних ходів в інженерній геодезії	114
4.8.1. Висячий полігонометричний хід	114
РОЗДІЛ 5. МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ ОПРАЦЮВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ	116
5.1. Вступ до теорії математичного опрацювання геодезичних вимірювань	116
5.2. Похибки геодезичних вимірювань	117
5.2.1. Грубі похибки	117
5.2.2. Систематичні похибки	118
5.2.3. Випадкові похибки	118
5.3. Основи та поняття оцінки точності геодезичних вимірювань	121

5.4. Характеристики точності та роздільної здатності	123
5.4.1. Розсіювання, прецизійність, правильність і роздільна здатність як критерії оцінки точності геодезичних вимірювань	123
5.4.2. Обчислення середньоквадратичного відхилення (СКВ) з дисперсії	124
5.4.3. Емпіричне середньоквадратичне відхилення та дисперсія	124
5.4.4. Емпіричне середньоквадратичне відхилення	124
5.5. Ваги вимірювань	125
5.5.1. Оцінка точності для функціоналів	127
5.6. Оцінка точності визначення положення пункту	129
5.6.1. Вплив випадкових похибок на визначувані координати.....	129
5.6.2. Оцінка точності за еліпсами довіри	129
5.6.3. Порядок апіорного обчислення точності пунктів.....	130
5.6.4. Основи визначення еліпсів довіри	131
5.7. Надійність та захист від грубих помилок	131
5.8. Числові приклади	133
5.8.1. Оцінка точності вимірюваної віддалі. Емпіричне стандартне відхилення та дисперсія	133
5.8.2. Врівноваження нівелірної мережі з вузловим пунктом	134
5.8.3. Оцінка точності визначення перевищення тригонометричним нівелюванням.....	135
5.8.4. Оцінка точності розмічувальних робіт	136
5.8.5. Розподіл похибок у полігонометричному ході (загальний випадок).....	138
5.8.6. Оцінка точності одnobічно прив'язаного полігонометричного ходу	139
5.8.7. Розподіл похибок на прикладі оберненої геодезичної задачі.....	141
5.9. Підсумок найважливіших статистичних формул одновимірною та двовимірною розподілу.....	143
5.9.1. Середні величини.....	143
5.9.2. Статистичні характеристики точності вимірювань.....	143
5.9.2.1. Статистичний розподіл вимірюваної величини (одновимірний розподіл)	143
5.9.2.2. Статистичний розподіл двох вимірюваних величин (двовимірний розподіл).....	144
5.9.3. Закон поширення похибок	145
6. ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТ	146
6.1. Системи висот	146
6.1.1. Геоїд	146
6.1.2. Лінії рівноваги, сила ваги і рівневі поверхні	146
6.1.3. Вимоги до визначення висот	147
6.1.4. Ортометричні висоти.....	148
6.1.5. Нормальні висоти	149
6.1.6. Еліпсоїдні висоти.....	150
6.2. Відомості про нівелірну мережу України.....	151
6.3. Перехід України до Європейської вертикальної системи відліку (EVRS)	152
6.4. Методи визначення висот та перевищень.....	153

6.4.1. Барометричний метод визначення перевищень.....	153
6.4.2. Гідростатичний метод визначення перевищень	155
6.4.3. Визначення висот за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем.....	157
6.4.4. Геометричний метод визначення перевищень	157
6.4.4.1. Види нівелірних ходів.....	158
6.5. Тригонометричний метод визначення перевищень	160
6.5.1. Вплив кривини Землі на визначене перевищення.....	162
6.5.2. Вплив рефракції на визначене перевищення	163
6.5.3. Взаємні одночасні спостереження зенітних кутів.....	165
6.5.3.1. Квазіодноточний метод тригонометричного нівелювання.....	166
РОЗДІЛ 7. НАЗЕМНІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ	167
7.1. Оптика геодезичних вимірювальних приладів	167
7.1.1. Фізичні основи оптичних систем.....	167
7.1.2. Відбиття, заломлення, дисперсія та поглинання	168
7.1.3. Приклади оптичних компонентів у геодезичних приладах.....	170
7.1.4. Зображення, утворювані оптичними лінзами та дзеркалами.....	172
7.2. Будова і функції геодезичної зорової труби	174
7.3. Рівні геодезичних приладів.....	175
7.3.1. Рідинні геодезичні рівні.....	176
7.4. Будова і функції електронних тахеометрів.....	178
7.4.1. Теодолітна частина	178
7.4.2. Електронні тахеометри	179
7.4.3. Тахеометри-мультистанції.....	181
7.4.4. Зчитування та відлічування горизонтальних та вертикальних напрямів.....	182
7.4.5. Компенсатори та електронні давачі нахилу в теодолітах та тахеометрах.....	185
7.5. Гіртеодоліти (вимірювальні гіроскопи)	187
7.6. Оптичні 3D-вимірювальні системи.....	188
7.6.1. Наземне лазерне сканування	188
7.6.1.1. Система вимірювання віддалей	190
7.6.1.2. Система вимірювання кутів лазерними сканерами	191
7.6.2. Критерії вибору систем лазерного сканування.....	192
7.6.3. Робочий процес – від знімання до моделі	195
7.6.3.1. Підготовка	196
7.6.3.2. Польові роботи	196
7.6.3.3. Опрацювання результатів сканування.....	197
7.7. Фотограмметрія та безпілотні літальні апарати (БПЛА)	198
7.7.1. Створення ортофотоплану та ЦМР з використанням БПЛА DJI Mavic 3E RTK.....	200
7.7.1.1. Підготовка польотної місії	200
7.7.1.2. Послідовність виконання знімання з БПЛА.....	202
7.7.1.3. Послідовність опрацювання даних БПЛА у програмі Metashape	203

7.8. Лазерне сканування за технологією SLAM	206
7.8.1. Використання ручного SLAM-сканера X 120 GO для збору просторової інформації.....	209
РОЗДІЛ 8. СУПУТНИКОВІ ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ.....	211
8.1. Принципова структура ГНСС	211
8.1.1. Космічний сегмент (супутники на орбітах)	211
8.1.2. Контрольний сегмент (військовий і цивільний)	214
8.1.3. Сегмент користувача	215
8.2. Структура GPS-сигналу.....	215
8.3. Огляд супутникових навігаційних систем	216
8.3.1. GLONASS	216
8.3.2. Galileo.....	216
8.3.3. BeiDou (BDS)	217
8.4. Як за ГНСС визначають координати на поверхні Землі?.....	217
8.4.1. Вимірювання часу поширення сигналу за допомогою кореляції кодів	218
8.4.2. Фазові вимірювання з використанням несучих частот	219
8.5. Впливи похибок у ГНСС	220
8.5.1. Похибка супутникових годинників	220
8.5.2. Похибка атмосфери	220
8.5.3. Похибка зривів циклів.....	221
8.5.4. Похибка багатопроменевого поширення сигналу	221
8.5.5. Ексцентриситет антени	221
8.6. Корекція та усунення впливів похибок за допомогою диференційних ГНСС (D-ГНСС) методів вимірювань	221
8.6.1. Принцип відносного визначення координат пунктів	221
8.6.2. Усунення фазових стрибків (Cycle Slips)	222
8.7. Принципи вимірювань ГНСС	222
8.7.1. Статичний метод	223
8.7.2. Швидкий статичний метод (Rapid Static)	223
8.7.3. Метод Stop and Go	224
8.7.4. Метод кінематичний.....	224
8.7.5. Метод в реальному часі RTK	224
8.8. Геодезичні ГНСС-приймачі.....	224
8.8.1. Диференціальні GNSS-сервіси.....	227
8.8.2. Геостаціонарні супутники.....	228
8.8.3. DGNS для геодезичних цілей.....	228
Бібліографічний список.....	229