Кабінет Міністрів України
Національний університет біоресурсів
і природокористування України

Є.В. Бутенко, І.П. Купріянчик

ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

Київ – 2012

УДК 528.4(075.8)
ББК 26.12я73
Б93

«Рекомендовано Міністерством освіти і науки, молоді та спорту України, як навчальний посібник для студентів напряму підготовки «Геодезія, картографія та землеустрій» вищих навчальних закладів» (лист № 1/11-11257 від 01.12.2011 р.)

Рецензенти:

С.П. Войтенко – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії КНУБА;

Д.С. Добряк – доктор економічних наук, професор, член-кореспондент НААН України, завідувач кафедри управління земельними ресурсами НУБіП України;

М.Г. Ступень – доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри земельного кадастру ЛНАУ.

Бутенко Є.В.

Б93 Геодезичні роботи у землеустрої: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. // Є.В. Бутенко, І.П. Купріянчик. – К.: МВЦ «Медінформ», 2011. – 304 с.
ISBN 978-966-409-101-2

У навчальному посібнику викладено відомості про геодезичні роботи, що виконуються при розробці та складанні проектів землеустрою, сільськогосподарської меліорації, планування і забудови сільських населених пунктів; наведено характеристику планово-картографічного матеріалу, який використовують у землеустрої, геодезичні методи проектування і перенесення проектів у натуру з аналізом точності виконаних робіт. Висвітлено питання вибору масштабу та висоти перерізу рельєфу при проведенні топографо-геодезичних робіт у землеустрої.

Розрахований на студентів вищих навчальних закладів, магістрів, аспірантів, науковців, викладачів, фахівців землевпорядної служби.

УДК 528.4(075.8)
ББК 26.12я73

© Є.В. Бутенко,
І.П. Купріянчик, 2012

ISBN 978-966-409-101-2

Зміст

Вступ 6

Розділ 1
ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ, ЯКІ ПРОВОДЯТЬ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ 8
1.1. Значення топографо-геодезичних обстежень і вишукувань у землеустрої. Об'єкти проектування 8
1.2. Стадії складання проектів землеустрою 9
1.3. Види геодезичних робіт, що виконуються у землеустрої 11
1.4. Відновлення і знімання меж землекористувань 12
1.5. Складання проектних планів 16
1.6. Створення зведених планів і карт 18
Завдання для самостійної роботи 22

Розділ 2
ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧНОСТІ ПЛАНІВ І КАРТ 25
2.1. Загальна характеристика, детальність і повнота планів 25
2.2. Точність планів і карт 27
2.3. Точність зображення рельєфу на плані й карті 31
2.4. Точність відстаней на плані 33
2.5. Точність напрямків на плані 34
2.6. Точність площ контурів на плані 37
2.7. Спотворення ліній і площ у проекції Гауса 40
2.8. Точність визначення відміток, перевищень і нахилів за горизонталями плану 43
2.9. Деформація паперу та його облік при роботі з планом 45
Завдання для самостійної роботи 48

Розділ 3
ОНОВЛЕННЯ (КОРИГУВАННЯ) ПЛАНІВ І КАРТ 51
3.1. Старіння планів (карт) і періоди їх оновлення 51
3.2. Плани (карти) землеволодінь та землекористувань, що підлягають коригуванню. Точність і способи коригування 54
3.3. Організація і зміст роботи з коригування планів (карт) 57
3.4. Коригування планів із використанням твердих контурних точок як опори 59
3.5. Використання аерознімків нової аерофотозйомки при коригуванні планів (карт) 72
3.6. Оформлення результатів коригування, контроль 76
Завдання для самостійної роботи 77

Розділ 4
ПРИЙОМИ І ТОЧНІСТЬ ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА КОНТУРІВ УГІДЬ 81
4.1. Обчислення площ полігонів (контурів, ділянок) за координатами вершин і приростами координат 81

4.2. Обчислення площі за результатами вимірювання ліній і кутів на місцевості . 85
4.3. Точність обчислення площі аналітичним способом 88
4.4. Обчислення площ графічним способом 91
4.5. Точність обчислення площ графічним способом і палеткою 93
4.6. Юстування і теорія перевірок полярного планіметра 97
4.7. Точність визначення площі планіметром 101
4.8. Визначення площі за способом Савича 102
4.9. Практика визначення та ув'язування площ 106
4.10. Обчислення площ після коригування плану 111
4.11. Визначення площі району й області 113
Завдання для самостійної роботи 119

Розділ 5
СПОСОБИ І ПРИЙОМИ ПРОЕКТУВАННЯ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ 123
5.1. Вимоги до точності площ і розташування меж ділянок 123
5.1.1. Вимоги до паралельності й перпендикулярності сторін ділянок 123
5.1.2. Вимоги до точності площ ділянок 124
5.1.3. Вимоги до точності визначення ухилів 126
5.2. Складання ескізних проектів 126
5.3. Способи та правила складання технічних проектів 129
5.4. Проектування графічним способом 131
5.5. Окремі випадки проектування ділянок графічним способом 136
5.6. Проектування ділянок механічним способом 140
5.7. Особливості проектування полів в умовах дрібноконтурності 144
5.8. Прийоми проектування ділянок аналітичним способом 146
5.9. Проектування аналітичним способом за наближеними формулами 154
5.10. Графоаналітичне проектування 156
5.11. Можливості спрощення обчислювальних робіт при складанні проектів .. 162
5.12. Випрямлення меж при землекористуванні 164
5.13. Особливості проектування при плануванні сільських населених пунктів 167
5.14. Деякі способи обліку рельєфу при проектуванні об'єктів 168
Завдання для самостійної роботи 172

Розділ 6
ПЕРЕНЕСЕННЯ ПРОЕКТІВ У НАТУРУ 175
6.1. Суть і способи перенесення проекту в натуру 175
6.2. Підготовка до перенесення проекту в натуру 177
6.3. Організація роботи з перенесення проекту в натуру 185
6.4. Перенесення проекту в натуру способом промірів 187
6.5. Особливості перенесення проекту в натуру за матеріалами аерофотознімання 197
6.6. Перенесення проекту в натуру кутомірним способом 199
6.7. Заходи, які застосовують для забезпечення паралельності й перпендикулярності проектних ліній 209
6.8. Приклад підготовки геодезичних даних для перенесення у натуру проектного теодолітного ходу 213

6.9. Перенесення проекту в натуру графічним способом (мензулою) 214
6.10. Окремі випадки, що трапляються при перенесенні проекту в натуру 217
6.11. Особливості перенесення у натуру проектів планування сільських населених пунктів 225
6.12. Передача позначки на дно котловану. Відбиття лінії затоплення 228
Завдання для самостійної роботи 231

Розділ 7
ТОЧНІСТЬ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ 234
7.1. Точність проектування площ ділянок аналітичним способом і порівняльна точність проектування різними способами 234
7.2. Точність запроектованих ділянок, перенесених у натуру 237
7.3. Точність визначення площі району чи області 241
7.4. Точність визначення площ землекористування з урахуванням похибок вимірювань на місцевості й на плані (карті) 242
7.5. Точність визначення площ угідь 245
7.6. Вибір масштабу плану 246
7.7. Вибір висоти перерізу рельєфу 249
Завдання для самостійної роботи 251

Розділ 8
ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ПРОТИЕРОЗІЙНИХ ЗАХОДІВ 255
8.1. Плани і карти, які використовують при проектуванні заходів щодо боротьби з ерозією ґрунтів 255
8.2. Проектування та перенесення в натуру робочих ділянок 255
8.3. Геодезичні роботи, які виконують при проектуванні та будівництві протиерозійних гідротехнічних споруд 258
Завдання для самостійної роботи 265

Розділ 9
ЗАСТОСУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ І НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ 268

Довідкові матеріали з математики та геодезії 281

Термінологічний словник із геодезичних робіт 291

Список літератури 299

Вступ

У ході змін форм власності на землю в Україні з'явився новий вид земельних відносин, що базується на рівноправності форм і охороні прав власності на землю. Землекористування стало платним, узаконені оренда та операції із земельними ділянками (купівля, продаж тощо) формується ринок земель і пов'язаної із землею нерухомості. Ведеться реєстрація прав на землю й права постійного користування нею. Головними принципами системи управління земельними ресурсами є: забезпечення гарантії права власності на землю; визначення правового статусу землі; забезпечення раціонального використання як самої землі, так і інформації про неї.

Виконання землевпорядних робіт, організація раціонального використання та охорони земель, ведення державного земельного кадастру, здійснення землеустрою, моніторингу земель неможливі без високоякісного геодезичного забезпечення. Геодезичні матеріали повинні надавати повну інформацію про просторове положення земельних ділянок, їхній природній, господарський стан і правовий режим.

Геодезична інформація – важливий чинник у розв'язанні визначених проблем. Від того наскільки раціонально вона буде представлена, залежать повнота та якість нагальних землевпорядних робіт. Недостатня й неточна інформація призведе до помилкового визначення вартості землі та необ'єктивності оформленні документів на право власності на землю чи користування нею. І навпаки, надмірна інформація та підвищена точність виконання геодезичних робіт, стануть причиною зростання вартості робіт. Тобто є необхідність встановлювати обсяг картографічної інформації й оптимальну точність виконання геодезичних робіт в землеустрої.

Геодезичні роботи у землеустрої потрібні для того, щоб володіти точними і достовірними даними (які виражаються в будь-якій формі – графічній, цифровій та ін.) про певну місцевість, її рельєф і особливості, розташовані будівлі, споруди різного призначення (надземні, підземні, наземні) та інші елементи існуючого планування. Ці роботи при чітко визначають поняття і дають необхідні дані для проектування та будівництва, ліквідації, реконструкції й розширення різних об'єктів. Вони незамінні при будь-яких операціях з нерухомістю, в ефективному управлінні територією, для формуванні систем обліку технічної інвентаризації об'єктів нерухомості тощо.

Геодезичні роботи у землеустрої – дуже складний і відповідальний захід, який передбачає цілий ряд необхідних і цілеспрямованих дій. До їхнього

складу входять: роботи з існуючими геодезичними матеріалами (збирання матеріалів, їхній аналіз, обов'язкове цифрове комп'ютерне опрацювання), що включають достовірне рекогнисцирування – обстеження конкретної території; роботи, які передбачають геодезичне обґрунтування (планово-висотне опорне і знімальне) геодезичних знаків, інженерно-топографічне знімання, пошук, виявлення і топографо-геодезичне знімання існуючих підземних комунікацій, а також опрацювання одержаних результатів. Геодезичні роботи в землеустрої також припускають створення цифрової моделі місцевості (ЦММ), складання планів (інженерно-топографічних, зведених), карт і атласів, а також проведення державної експертизи всіх наявних матеріалів геодезичних робіт, для геодезичних робіт у землеустрої потрібне не тільки сучасне обладнання, але й гідний, високопрофесійний контингент працівників, які можуть оцінити і використати одержану інформацію.

При написання посібника були використані теоретичні та методологічні напрацювання таких дослідників, як І.М. Гора, Г.І. Горохов, П.Ф. Жолкевський, Е.М. Ктіторов, А.В. Маслов, А.Г. Юнусов.

Розділ 1

ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ, ЯКІ ПРОВОДЯТЬ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

1.1. Значення топографо-геодезичних обстежень і вишукувань у землеустрої. Об'єкти проектування

Проведення топографо-геодезичних обстежень та вишукувань є одним із видів землевпорядних дій, які виконують в землевпорядкуванні. Воно покликане забезпечити топографічну основу у вигляді карт і планів для різних землевпорядних заходів:

1) утворення нових, а також впорядкування існуючих землекористувань з усуненням черезсмужжя та інших незручностей у розташуванні земель; уточнення і зміну меж землекористувань на основі схем місцевого й загальнодержавного планування;

2) організації території новостворених та існуючих сільськогосподарських підприємств, організацій і установ із введенням економічно обґрунтованих сівозміни й облаштуванням всіх інших сільськогосподарських угідь (сіножаті, пасовища, сади тощо), а також розробки заходів щодо боротьби з ерозією ґрунтів;

3) забезпечення раціонального використання земель для сільськогосподарського та іншого призначення;

4) відведення й вилучення земельних ділянок;

5) установлення і зміна меж міських, селищних і сільських населених пунктів;

6) проведення ґрунтових, геоботанічних та інших обстежень і вишукувань.

Топографічні карти й плани необхідні для здійснення державного земельного кадастру, що включає дані про землевласників і землекористувачів, облік кількості та якості земель, бонітування ґрунтів і матеріали економічної оцінки земель. Ці дані слугують для організації ефективного використання земель та їхньої охорони, розміщення, зонування і спеціалізації сільськогосподарського виробництва, меліорації земель і хімізації сільського господарства, а також для інших заходів, пов'язаних з використанням земель. Топографічні карти та плани потрібні й для проектування забудови сільських населених пунктів.

Кожен із вказаних заходів та потребує певної якості, тобто точності, повноти й детальності топографічних карт і планів. Показники якості визначають масштаб карти (плану) та висоту перерізу рельєфу, а масштаб карти і площа, на якій виконують топографо-геодезичні роботи, види й методи проведення цих робіт. Але вимоги до точності топографічних планів і карт обґрунтовуються не тільки заходами чи діями в цілому, але й окремими об'єктами, що відображаються або проектуються на планах і картах у процесі проведення заходів чи дій.

Особливо велика кількість об'єктів проектування передбачається при складанні землевпорядних проектів. Зокрема, це землекористування різних підприємств, установ та організацій і межі цих землекористувань. При розробці проектів землеустрою щодо організації території об'єктами проектування є ділянки, виділені для населених пунктів, господарських (виробничих) центрів, для окремих угідь та сівозмін, полів сівозмін, лісосмуги, бригадні й інші ділянки, дороги, скотопрогони тощо.

Вимоги до точності проектування об'єктів зумовлюються масштабами планів і карт, які використовують у землеустрої. Так, для складання землевпорядних проектів готують плани в масштабах від 1:5000 до 1:25 000. При великих обсягах робіт із землеустрою (формування нових землекористуваннь, великих водосховищ, каналів та ін.) іноді використовують карти масштабів 1:50 000 і 1:100 000.

Із проведенням територіального землеустрою тісно пов'язані роботи з розробки проектів планування сільських населених пунктів, гідромеліоративних заходів (зрошення, осушення, терасування схилів), гідротехнічних споруд (водозатримні й водовідвідні вали, водозбірні споруди, стави) й тощо.

Для складання таких проектів проводять спеціальні вишукування і готують геодезичну основу у вигляді планів більшого масштабу (від 1:500 до 1:5000). Великомасштабні плани використовують також для розробки спеціальних проектів землеустрою щодо організації території садів, ягідників, виноградників, комплексних проектів меліорації (зрошення, осушення) та організації території.

Карти і плани складають на основі різного виду геодезичних зйомок, переважно аерофотозйомок. У зв'язку зі змінами, в розташуванні об'єктів знімання (ситуації) на місцевості, зникненням одних і виникненням нових землекористувань проводять періодично оновлюють плани (карти), тобто розробляють нові плани на основі старих, або коригують старі, вносячи в існуючі плани зміни, які відбулися на місцевості.

1.2. Стадії складання проектів землеустрою

Складання проекту з подальшим перенесенням його у натуру – це процес зворотний до знімання і розробці плану. Якщо при зніманні виконують вимірювання на місцевості для подальшого зображення на папері

меж землекористування, ділянок, угідь, доріг, річок, то при складанні проекту спочатку на папері (плані) зображують проектні межі полів, бригадні та інші ділянки, дороги, лісосмуги, канали тощо, після чого положення цих об'єктів визначають на місцевості відповідними вимірюваннями при перенесенні проекту в натуру.

Для розробки проекту використовують план (карту) з експлікацією площ землекористування за видами угідь, кальки контурів, матеріали ґрунтових, геоботанічних, агролісомеліоративних та інших обстежень.

Проект землеустрою розробляють відповідно до завдання, яке містить основні показники перспективного плану розвитку кожного конкретного сільськогосподарського підприємства з урахуванням економічних і природних умов.

На підставі зазначених матеріалів та побажань замовника на плані (карті) або копії з нього складають графічний проект розміщення складових і елементів організації території.

У проектах землеустрою розв'язують іноді досить складні та комплексні господарські завдання організації території. В багатьох випадках найправильніше проектне рішення одержують у результаті складання та еколого-економічного аналізу кількох варіантів або шляхом використання методів лінійного програмування.

Перші проектні рішення роблять наближено, по можливості простими технічними засобами і прийомами, щоб швидше графічно оформити задум проектувальника спочатку в загальних рисах, а потім й у деталях. Тому проекти землеустрою розробляють, як правило, в два прийоми (стадії):

– складання попереднього (ескізного проекту);

– складання остаточного (технічного проекту).

За ескізним проектом, у якому наводиться економічно обґрунтоване розміщення всіх основних елементів організації території, можна розв'язати питання про способи та прийоми остаточного технічного проектування тих чи інших об'єктів, проведення необхідної польової підготовки як для складання технічного проекту точнішими способами, так і для перенесення його в натуру. Тому на основі ескізного проектування розробляють остаточний технічний проект, в якому забезпечується необхідна точність положення запроектованих об'єктів та їхніх площ.

Після складання проекту і його належного юридичного оформлення (перевірка, обговорення, затвердження) виконують підготовчі роботи для перенесення проекту в натуру, а потім – і саме перенесення у натуру всіх точок, кутів, ліній, площ запроектованих об'єктів.

Після перенесення проекту в натуру або при його здійсненні іноді проводять виконавче знімання споруджених об'єктів чи об'єктів, які знаходяться у процесі будівництва з метою геодезичного контролю за правильністю реалізації задумів проектувальника або допущених похибок при перенесенні та здійсненні проекту.

Під час зведення й будівництва споруд (наприклад, каналів, гребель, водозатримних валів) і в процесі їхньої експлуатації за допомогою геодезичних вимірювань проводять спостереження за деформацією та осіданням споруд, щоб запобігти їхньому руйнуванню і встановити терміни ремонтних робіт.

Матеріали землеустрою – це відкориговані плани землекористувань, проекти, експлікації та інше, які слугують в подальшому основою для ведення державного земельного кадастру.

1.3. Види геодезичних робіт, що виконуються у землеустрої

У процесі складання проектів землеустрою та на завершальній стадії їхньої розробки здійснюють такі види геодезичних робіт:

1. Побудова геодезичного знімального обґрунтування у вигляді системи трикутників, полігонометричних, теодолітних, тахеометричних, мензульних і нівелірних ходів, засічок з густотою і точністю в залежності від прийнятого масштабу знімання та висоти перерізу рельєфу.
2. Знімання: аерофототопографічні (контурні, комбіновані, стереотопографічні), фототеодолітні, мензульні (топографічні – зі зніманням рельєфу, контурні), теодолітні, тахеометричні, нівелювання поверхні, різних масштабів із різною висотою перерізу рельєфу залежно від вимог до точності обстеження й проектування об’єктів.
3. Оновлення планів і карт – складання їх за результатами нового аерофотознімання з використанням існуючих матеріалів геодезичної основи й старих зйомок. У такому разі польові роботи часто обмежуються маркуванням пунктів геодезичного обґрунтування, додатковим дешифруванням і зніманням контурів ситуації аерознімків, які не відобразилися або нещодавно з’явилися, відновленням, дешифруванням чи зйомкою меж землекористування, якщо їх неможливо з необхідною точністю нанести на план (карту) за результатами попередніх знімань.
4. Коригування планів – знімання та нанесення на існуючий план (карту) об’єктів і контурів ситуації, що з’явилися або зникли із плану.
5. Складання й оформлення планів і карт на основі виконаного знімання.
6. Визначення площ землекористування та угідь зі складанням експлікацій.
7. Розробка проектних планів – копій планів і карт.
8. Попереднє (ескізне) проектування об’єктів.
9. Технічне проектування об’єктів.
10. Підготовка до перенесення проекту в натуру.
11. Перенесення проекту в натуру.
12. Виконавче знімання.
13. Спостереження за деформацією та просіданням споруд.

Виконавче знімання, яке проводять із метою контролю за точністю перенесення проекту в натуру і його здійсненням, не потребує особливого опису, оскільки його виконують засобами та методами, застосовуваними при іншому зніманні.

Спостереження за деформацією й просіданням споруд, спрямовані на запобігання можливим їхнім руйнуванням, є спеціальними питаннями інженерної геодезії.

1.4. Відновлення і знімання меж землекористувань

Межі землекористування відновлюють на місцевості у разі їхнього знищення, виникненні земельних суперечок між землекористувачами або перед зніманням їх з метою нанесення на нові плани (карти). Відновлення меж геодезичними засобами можливе лише за наявності геодезичної інформації в вигляді координат граничних знаків або горизонтальних кутів і відстаней між знаками. Відновлення можливо і з використанням графічного зображення меж на існуючих планах (картах).

Межі землекористувань відновлюють за допомогою теодоліта або тахеометра й мірного приладу (лазерна рулетка, світлодалекомір тощо). Використовують кутові та лінійні величини, взяті з плану землекористування чи з відомості координат. Для роботи на полі виготовляють креслення меж, де виписують кути й довжини ліній для втраченої частини межі у точках *C* і *D* (рис. 1.1.), та на лініях *AB* і *EF*, які до неї примикають та позначені на місцевості межовими знаками в точках *A*, *B*, *E* і *F*.

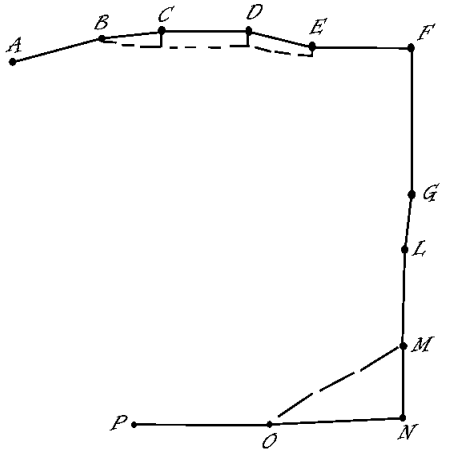


Рис. 1.1. Схема відновлення меж землекористування

Для відновлення втрачених меж *BC*, *CD*, *DE* та межових знаків у точках *C* і *D* будують при точці В кут β, величина якого відома, й за одержаним напрямком відкладають відому відстань (відповідно до горизонтального прокладання). В одержаній точці *C* будують кут, величина якого відома,

відкладають відстань *CD* і т. д. У точці *E* вийде нев'язка як наслідок дії похибок вимірювань при прокладанні ходу *BCDE*.

При ймовірності 0,95 неув'язку (допустиму) можна розраховувати за формулою:

$$f_S^2 = 4\sum_1^n m_S^2 + \frac{n+1,5}{3}\left(\frac{m_\beta}{\rho}\sum_1^n S\right)^2, \qquad (1.1)$$

де m_s – середньоквадратична похибка вимірювання (відкладання) лінії завдовжки s; n – число ліній (побудованих кутів) ходу; $m_ß$ – середня квадратична помилка побудови кута.

Наприклад, при

$$s_1 = s_2 = s_3 = 400 \text{ м},$$

$$m_s = 0,15 \text{ м},$$

$$m_ß = 1'$$

Нев'язку розподіляють способом паралельних ліній. Для цього за допомогою бусолі в точці *e* вимірюють напрямок (магнітний азимут) нев'язки, а у точках *d* і *c* за допомогою бусолі будують цей напрямок і відкладають від нього відрізки (поправки) *dD i cC*, які обчислюють за формулами:

$$dD = \frac{eE}{BC + CD + DE}(BC + CD), \qquad (1.2)$$

$$cC = \frac{eE}{BC + CD + DE} BC. \qquad (1.3)$$

Іноді немає необхідності проводити ув'язку ходу на місцевості, оскільки після одержання точки *c* розкопування дає змогу виявити залишки втраченого межового знака у вигляді напівзгнилих частин стовпів чи уламків каменю, бетону та ін. У такому разі на місці виявленого знака встановлюють новий знак, будують кут при його вершині й відмірюють відстань для одержання точки *d*, у якій також виявляють залишки втраченого межового знака, і на його місці встановлюють новий знак.

Для відновлення іншої частини межі, де не збереглися суміжні граничні знаки, наприклад у точках *N* та *L*, потрібно за координатами точок *M* і *O* визначити дирекційний кут (*MO*):

$$\operatorname{tg}(MO) = \operatorname{tg}\alpha \operatorname{tg}\frac{Yo - Ym}{Xo - Xm}; \qquad (1.4)$$

після чого обчислюють кути φ = (*MO*) – (*MN*) *s* γ = (*ON*) – (*OM*) та інші, за якими можна одержати на місцевості напрямок на точки *N*, *L*, *P* за умови

взаємної видимості між точками *M* і *O*. Положення точки *G* можна одержати за кутом, який треба побудувати при точці *F* або при точці *L*.

При відновленні втрачених граничних знаків за геодезичними даними витрачається багато часу як на прокладання ходу, так і на ув'язку його в натурі.

Те ж саме завдання із відновлення межових знаків у точках *C* та *D* можна розв'язати ще одним способом.

За координатами точок *B* і *E* визначають напрямок та довжину лінії *BE* (рис. 1.2, а),

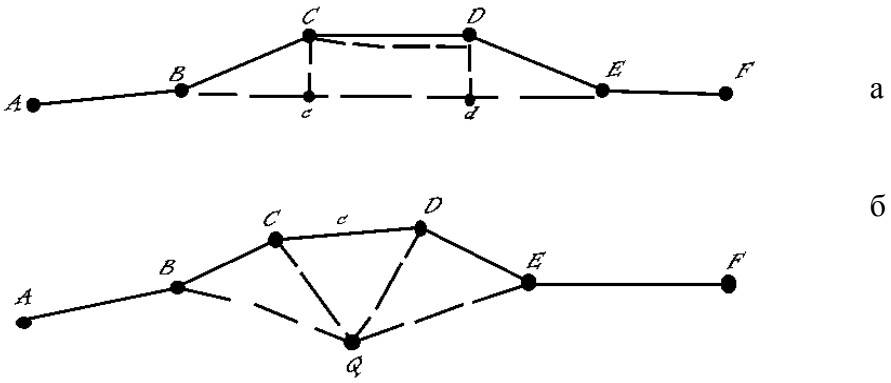


Рис. 1.2. Схема виконання робіт із відновлення межових знаків

$$\mathrm{tg}(BE) = \frac{Ye - Yb}{Xe - Xb}, \tag{1.5}$$

$$BE = \frac{Ye - Yb}{\sin BE} = \frac{Xe - Xb}{\cos BE}. \tag{1.6}$$

потім за дирекційними кутами граничних ліній і лінії ВЕ обчислюють кути: φ = (*BA*) - (*BE*), α = (*BE*) - (*BC*), β = (*BE*) - (*CD*) та γ = (*ED*) - (*EB*).

Далі по лінії *BE* визначають проміри:

$$Bc = BC \times \cos\alpha, \qquad Cd = CD \times \cos\beta \quad \text{і} \qquad D_E = DE \times \cos\gamma$$

та перпендикуляри до точок *C* і *D* завдовжки:

$$Cc = BC \times \sin\alpha, \qquad Dd = Cc + CD \times \sin\beta,$$

які можна використовувати для пошуку на місцевості положення загублених межових знаків у точках *C* і *D*.

Для цього виписують одержані дані на креслення, будують при точці *B* кут φ, провішують лінію *BE*, відмірюють промір *Bc*, у точці *c* будують і відмірюють перпендикуляр *cC* та встановлюють знак у точці *C*. Положення знака в точці *D* знаходять за проміром *Bd* і перпендикуляром *dD*.

Якщо пряме вимірювання лінії *BE* неможливе або ускладнене через наявність перешкод, то доцільно прокласти спочатку допоміжний теодолітний

хід між точками *B* та *E* з однією (двома) додатковою точкою *Q* (рис. 1.2, б), ув'язати його, після цього за координатами точок *Q* й *C*, *Q* і *D* розв'язанням зворотної геодезичної задачі обчислити дирекційні кути (*QC*), (*QD*) та горизонтальні прокладення *QC* і *QD*, а потім – і кути

$$\lambda = =(QC) - (QB) \qquad \text{і} \qquad \delta = (QD) - (OP),$$

які необхідні для побудови їх на місцевості, щоб відновити втрачені знаки у точках *C* і *D*.

Якщо на втрачену частину межі немає геодезичних даних (кутових і лінійних), а є лише графічне зображення її на плані або фотоплані, межі відновлюють пошуком точок на місцевості, де були, межові знаки, із застосуванням методу промірів між збереженими знаками *B* і *E* (див. рис. 1.2, а) і побудови перпендикулярів від промірів лінії *BE* до відновлюваних знаків *C* та *D*. Довжину промірів *Bc* і *Bd* та перпендикулярів *cC* і *dD* визначають графічно за планом.

Межі землекористувань відновлюють за участю представників суміжних землекористувачів, представників сільської ради та користувача присадибною ділянкою.

Встановлені чи відновлені межові знаки з метою нанесення їх на план знімають різними способами залежно від методу знімання території землекористування і наявності геодезичних пунктів, до яких можна прив'язати знаки.

Найнадійнішим способом знімання граничних знаків є прокладання по них теодолітних ходів, що прив'язуються до пунктів наявної геодезичної мережі (в тому числі до існуючих межових знаків, які мають обчислені значення координат). У такому разі межові знаки протягом багатьох років слугують геодезичною основою для прив'язки відводів земель, для перенесення проектів землеустрою в натуру, корегування планів, спрямованого на їхню підтримку на рівні сучасності, й для прив'язки аерознімків при оновленні планів.

Розташування межових знаків по периметру землекористування, часто на кормових та лісових угіддях, забезпечує тривале збереження їх, завдяки чому вони є надійнішими носіями геодезичної інформації, ніж інші пункти геодезичних мереж. Розміщення їх на орних угіддях перешкоджає механізованому обробтку землі, і вони тут псуються та знищуються.

Межових знаків в останні 10–20 років майже не знімали. Вони втрачаються і масове виконання геодезичних робіт із розпаювання, приватизації земель тощо, у результаті яких необхідно прокладати теодолітні ходи, потребує великих витрат коштів, матеріальних засобів і часу інженерно-технічних працівників.

Не менш ефективний спосіб знімання групи суміжних межових знаків – прив'язів їх до контурних точок (зображених на фотоплані), вимірювання відстаней (горизонтальних прокладень) та гіроскопічне визначення азимута

сторін (дирекційних кутів) між знаками (рис. 1.3). Для цього на фотоплані або аерознімках вимірюють координати контурних точок *a*, *b*, *c*, . . . , *i*, *h*, полярним способом ці координати передають на межові знаки 1, 2, 3 й з одержання кількох значень координат для кожного знака виводять середнє значення. Потім, розв'язуючі, умовні рівняння способом найменших квадратів, розраховують поправки в координати межових знаків.

$$\operatorname{arctg}\frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2} - \alpha 12 = 0, \tag{1.7}$$

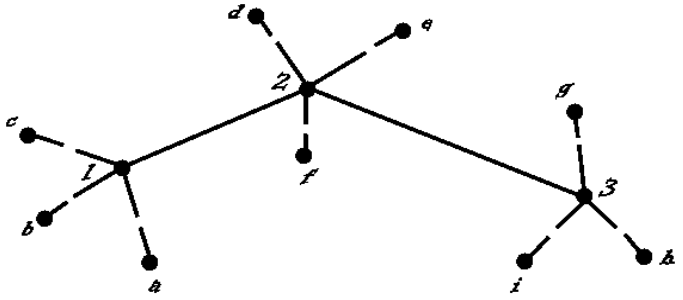


Рис. 1.3. Прив'язка точок контурів ситуації

$$\operatorname{arctg}\frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} - \alpha 23 = 0, \tag{1.8}$$

$$((x_1-x_2)^2+(y_1-y_2)^2)^{1/2} - S_{21}=0, \tag{1.9}$$

$$((x_2-x_3)^2+(y_2-y_3)^2)^{1/2} - S_{32}=0. \tag{1.10}$$

За такого способу знімання межі землекористування не виникає явища, коли нанесені на фотоплан за координатами межові знаки не збігаються з фотографічним зображенням меж землекористування.

Перед аерофотознімання доцільне корисно межові знаки замаркірувати, завдяки чому відпадає потреба у прив'язці їх до контурних точок.

1.5. Складання проектних планів

Проекти землеустрою, як правило, складають на фотопланах та їхніх репродукціях – копіях із них, які виготовляють переважно цифровим способом, здебільшого найточним і найпродуктивним порівнянні з іншими способами. Проектні плани створюють із планів і карт, одержаних цифровим копіюванням. При нескладній ситуації й прямолінійних контурах копіювання можна виконати графічним способом по клітинах. Для цього на оригіналі та на копії проводять мережу ліній, що проходять через однойменні точки, щоб вийшла мережа чотирикутників (клітин), за формою близьких до квадрата,

або згущують координатні сітки. Копіювання ситуації й рельєфу проводять по одноіменних клітинах за допомогою пропорційного циркуля, який складається з двох ніжок, з'єднаних рухомим шарніром *O* (рис. 1.4).

При будь-якому розкритті циркуля залежність:

$$\frac{ab}{AB} = \frac{Oa}{OA} \tag{1.11}$$

є постійною і дорівнює відношенню масштабів копії та оригіналу.

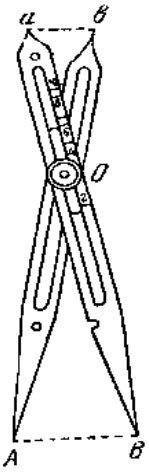


Рис. 1.4. Пропорційний циркуль

Пересуванням шарніра вздовж вирізів ніжок можна встановити потрібне відношення між відрізками *ab* і *AB*. Для деяких масштабів (1:2, 1:4 та ін.) положення шарніра зазначено рисками на ніжках циркуля.

При відсутності пропорційного циркуля використовують клиновий масштаб (рис. 1.5), який, звичайно, будує виконавець.

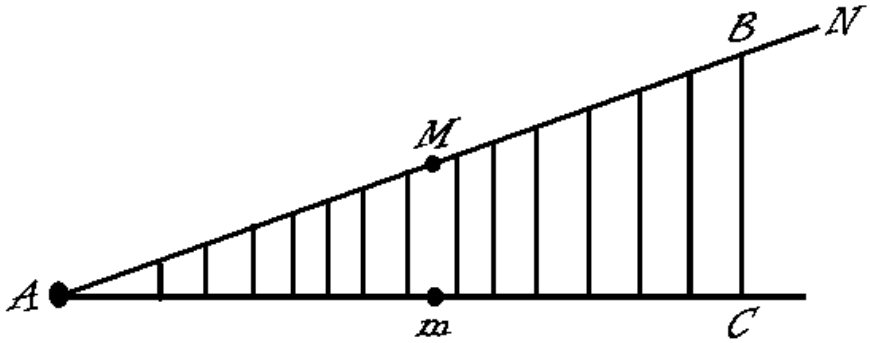


Рис. 1.5. Клиновий масштаб

Для цього на похилій лінії відкладають довільний відрізок *AB*, наприклад 10 см, у масштабі оригіналу й визначають його довжину *BC* у масштабі копії, скажімо 4 см. Потім радіусом, що дорівнює *BC*, із точки *B* описують дугу і проводять до неї дотичну з точки *A*. Щоб знайти положення

точки *C*, яка потрібна для проведення лінії *BC* і паралельних їй, можна скористатися виразом:

$$AB = \sqrt{AB^2 - BC^2}. \qquad (1.12)$$

При використанні клинового масштабу з оригіналу плану циркулем беруть відстань *AM* і відкладають її від точки *A* по лінії *AB*, потім одну ніжку циркуля залишають у точці *M*, а другу переводять на лінію *AC* по найкоротшій відстані *Mm*, яка буде відповідним відрізком на копії.

1.6. Створення зведених планів і карт

Зведені плани і карти складають у масштабах 1:25 000, 1:50 000, а іноді й 1:100 000 на значну територію однієї чи кількох землекористувань великих сільськогосподарських підприємств на основі окремих суміжних землевпорядних, лісогосподарських, дорожніх та інших планів із різним орієнтуванням і в різних масштабах із метою використання їх для:

- освоєння проектів територіального й міжгосподарського землеустрою;
- кількісного та якісного обліку земель сільськогосподарських підприємств і організацій;
- ґрунтових, геоботанічних, меліоративних, дорожніх та інших обстежень;
- розв'язання завдань адміністративного й господарського управління та планування сільськогосподарського виробництва.

При визначенні геодезичної якості суміжних планів порівнюють спільні кути і лінії за відомостями обчислень, безпосереднім вимірюванням їх на планах, або обчислюючи їх за координатами однойменних точок.

До складу робіт зі складання планів і карт входять:

- створення планової опорної геодезичної мережі,
- накладання зображень ситуації та рельєфу на планову основу.

Графічний спосіб створення планової опорної мережі полягає в тому, що спочатку складають загальну схему меж планів (рис. 1.6), на яких планують по 3–5 спільних вузлових точок для кожного плану з таким розрахунком, щоб діагональні лінії, проведені між цими точками, утворили трикутники й чотирикутники з кутами γ між лініями не менше 40° і не більше 140°.

Потім діагональні лінії ретельно вимірюють графічно на планах за допомогою штангенциркуля або геодезичного вимірника. При цьому для однойменних ліній суміжних планів одержують два значення, з яких виводять середнє. При вимірах ліній враховують деформацію паперу та записують результати вимірювань на схемі.

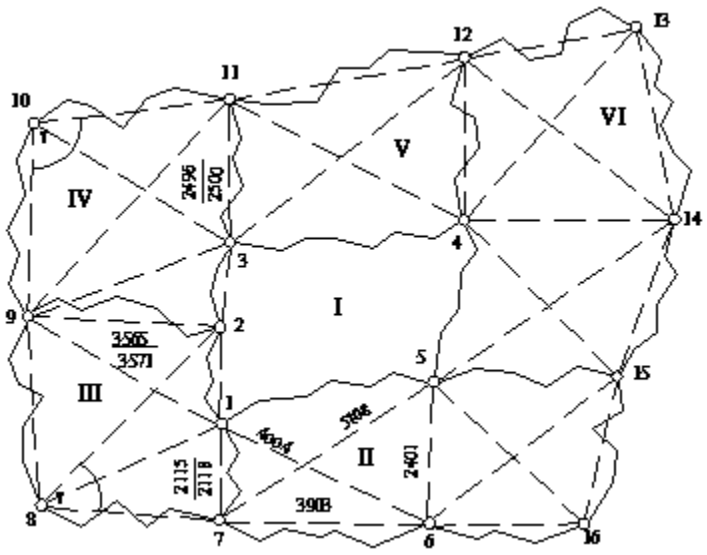


Рис. 1.6. Створення опорної мережі графічним способом

Побудову опорної мережі починають із координатної сітки і нанесення точок (1, 2, 3, 4, 5) центрального плану за координатами. Якщо обчислених значень координат указані точки не мають, то їх будують за графічними координатами цих точок або з використанням діагональних ліній, виміряних між цими точками. На основі цих точок методом лінійних засічок та не менше як трьома діагональними лініями знаходять положення інших точок. Сторони трикутників незбіжності, при цьому, не повинні бути більшими 1 мм на зведеному плані й остаточним положенням точки приймають центр трикутника незбіжності. Якщо вузлові точки планів мають обчислені значення координат, то довжини діагональних ліній розраховують за координатами і використовують для графічної побудови опорної мережі методом лінійної засічки, як зазначено вище. Такий спосіб називають графоаналітичним.

При аналітичному способі обчислені за координатами діагональні лінії, що утворюють трикутники, дають змогу будувати опорну геодезичну мережу методом лінійної тріангуляції (трилатерації).

Якщо окремі плани, за якими створюють зведений план, обмежені теодолітними полігонами, то побудова опорної мережі полягає у переобчисленні координат точок полігонів в одну систему. Для цього:

1) роблять схематичне креслення, де планують нові полігони, що складаються з діагональних ліній між вузловими точками (рис. 1.7, полігони I і II);

2) за координатами вузлових точок визначають довжини діагональних ліній і їхні дирекційні кути. При цьому на деяких суміжних ділянках одержують два значення цих величин. Так, для діагональної лінії 2–9 її довжину й дирекційний кут обчислюють за координатами точок 2 і 9 полігонів 1 та 2, а для діагональної лінії 9–6, – за координатами точок 9 і 6 полігонів 3 та 4. Якщо відносне розходження між двома значеннями однієї й тієї ж самої

діагональної лінії не перевищує 1:700 від її довжини, то вважають, що геодезичні дані по полігонах придатні для створення опорної мережі й з двох значень довжини виводять середнє арифметичне;

3) за визначеними дирекційними кутами діагональних ліній і за наявними дирекційними кутами ліній полігонів обчислюють внутрішні кути нових полігонів I і II. Наприклад, кут β_1 визначають як різницю дирекційних кутів діагональних ліній 1–8 та 1–2; кут $\beta_{2,1}$ – як різницю дирекційних кутів діагональних ліній 2–1 і 2–9 полігонів 1; кут $\beta_{2,2}$ – як різницю дирекційних кутів діагональних ліній 2–9 та 2–3 полігону 2; кут $\beta_{9,1}$ – як різницю дирекційних кутів діагональної лінії 9–2 і суміжній лінії полігонів 1 і 4; кут $\beta_{9,4}$ – як різницю дирекційних кутів цієї лінії та діагональної лінії 9–6 полігона 4 і т. д. Кут при точці 9 у новому полігоні обчислюють як суму кутів $\beta_{9,1}$ та $\beta_{9,4}$;

4) врівноважують нові полігони (I і II) спільно, способом порівняння нев'язок. При цьому за вихідні беруть дирекційний кут однієї з діагональних ліній і координати однієї з вузлових точок. Допустимість кутових та лінійних нев'язок у нових полігонах визначають за формулами, які використовують для теодолітних полігонів (якщо внутрішні кути обчислюють за дирекційними кутами діагональних ліній одного й того ж полігона, то кутових нев'язкок у такому полігоні не буде).

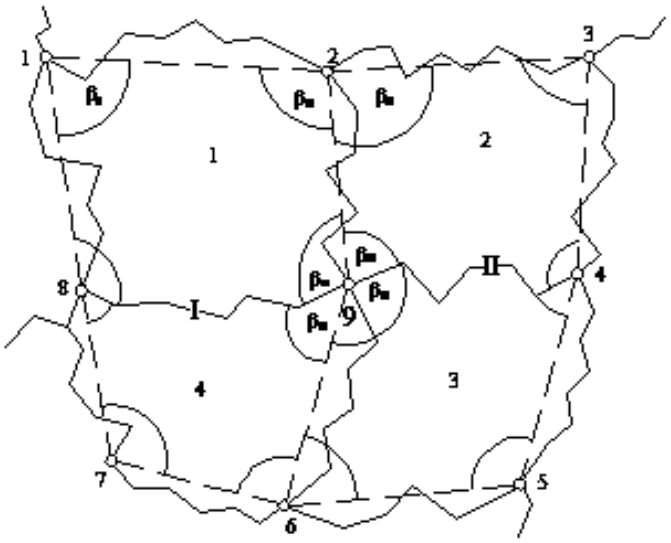


Рис. 1.7. Створення опорної мережі,
переобчисленням координат точок суміжних полігонів в одну систему

Наведений спосіб дає змогу перетворити велику групу суміжних полігонів у різних системах координат у невелику кількість полігонів і одержати координати вузлових точок в одній системі й за цими координатами складати зведений план.

Решта точок полігонів можуть бути нанесені на зведений план копіюванням різними графічними способами або за старими координатами з

попередньою побудовою на зведеному плані старої координатної сітки відносно вузлових точок.

Координати точок у новій системі можна одержати, внесенням поправок у прирости координат за поворот осей, обчислених на підставі відомого ряду для однієї змінної:

$$\delta = f(\alpha+\delta\alpha) \rightarrow f(\alpha) = \delta\alpha \times f'(\alpha) + 0{,}5 \times \delta\alpha^2 \times f''(\alpha) + 0{,}17 \times \delta\alpha^3 \times f'''(\alpha), \quad (1.13)$$

де $f(\alpha)$ – приріст координат, визначений за старим дирекційним кутом α, $f(\alpha+\delta\alpha)$ – приріст координат, обчислений за дирекційним кутом $\alpha+\delta\alpha$ у новій системі, при цьому $\delta\alpha = \alpha_{нов} - \alpha_{ст}$. Вважаючи, що $f(\alpha) = \Delta x = S \times \cos\alpha$, і обмежившись у наведеному ряду першою та другою похідними, одержимо формулу поправки до приросту лінії по осі абсцис:

$$\delta x = -\delta\alpha \times S \times \sin\alpha - \tfrac{1}{2}\,\delta^2\alpha \times S \times \cos\alpha = -\delta\alpha \times \Delta y - \tfrac{1}{2}\,\delta^2\alpha \times \Delta x. \quad (1.14)$$

Аналогічно для поправки у приріст лінії по осі ординат ($\Delta y = S \times \sin\alpha$) одержимо:

$$\delta y = -\delta\alpha \times S \times \cos\alpha - \tfrac{1}{2}\,\delta^2\alpha \times S \times \sin\alpha = -\delta\alpha \times \Delta x - \tfrac{1}{2}\,\delta^2\alpha \times \Delta y. \quad (1.15)$$

Одержані формули використовують при $\delta\alpha \le 8°$ у такому вигляді:

$$\delta x = -\Delta y - \Delta x \tfrac{1}{2} \left(\frac{\delta'\alpha}{\rho'}\right)^2 \text{ та } \delta y = \Delta x - \Delta y \tfrac{1}{2} \left(\frac{\delta'\alpha}{\rho'}\right)^2. \quad (1.16)$$

При $\delta\alpha \le 2°$ обмежуються першими складовими правих частин цих формул. Обчислення виконують за допомогою комп'ютерної техніки. Контроль обчислень поправок до збільшення координат здійснюють за формулами:

для полігона

$$\Sigma\delta x = 0, \Sigma\delta y = 0,$$

а для ходу

$$\Sigma\delta x = -\frac{\delta'\alpha}{\rho'}\Sigma\Delta y \text{ та } \Sigma\delta y = \frac{\delta'\alpha}{\rho'}\Sigma\Delta x. \quad (1.17)$$

Прирости координат у новій системі можна визначити, використовуючи формули аналітичної геометрії:

$$\Delta x_{нов} .= \Delta x_{ст} \times \cos\delta\alpha - \Delta y_{ст} \times \sin\delta\alpha; \quad (1.18)$$

$$\Delta y_{нов} .= \Delta x_{ст} \times \sin\delta\alpha\ \Delta y_{ст} \times \cos\delta\alpha. \quad (1.19)$$

Одержання постійних $\sin\delta\alpha$ і $\cos\delta\alpha$ контролюють за формулою:

$$\sin^2\delta\alpha + \cos^2\delta\alpha = 1{,}000. \quad (1.20)$$

?

Завдання для самостійної роботи.

1. Які головні завдання топографо-геодезичних обстежень і вишукувань?
2. Що зумовлює основні вимоги до проектування об'єктів у землеустрої?
3. Назвіть основні стадії проектування в землеустрої.
4. Основні види геодезичних робіт, які виконуються при землеустрої.
5. Особливості відновлення меж землекористувань.
6. Назвіть основні ефективні види знімання межових знаків?
7. У якому масштабі складають збірні карти та плани. Основні складові побудови збірних карт і планів.
8. Назвіть основні способи побудови опорної геодезичної мережі.
9. У чому полягає створення опорної мережі графічним способом?
10. Переваги використання способу професора В.В. Попова для зрівнення полігонів.

Навчальний тест:

1. У якому масштабі готують геодезичну основу для складання проектів планування сільських населених пунктів, гідромеліоративних заходів, гідротехнічних споруд та ін.?

1) від 1:500 до 1:5000;
2) від 1:500 до1:2000;
3) від 1:1000 до 1:5000;
4) від 1:2000:1:5000.

2. У скільки стадій розробляють проекти землеустрою?

1) у дві;
2) чотири;
3) п'ять;
4) шість.

3. Оновлення планів і карт – це:

1) коригування планів (карт) графічним способом, нанесення на карту нових контурів;
2) складання їх за результатами нового аерофотознімання з використанням існуючих матеріалів геодезичної основи і старих знімань;
3) знімання та нанесення на існуючий план (карту) об'єктів і контурів ситуації, які з'явилися і зникли з плану;
4) знімання нової геодезичної основи, не використовуючи існуючих матеріалів старих знімань.

4. З якою метою проводять виконавчі зйомки?

1) для підготовки перенесення проекту в натуру;
2) контролю за правильністю обчислень площ землекористувань;
3) здійснення контролю за правильністю проведення коригування планів;
4) проведення контролю за правильністю перенесення проекту в натуру.

5. Межі землекористувань відновлюють за участю представників:
1) сільської ради;
2) суміжних землекористувачів;
3) територіального відділу земельних ресурсів;
4) сільської ради та територіального відділу земельних ресурсів.

6. Який масштаб планів (карт), що використовують у землеустрої, зумовлюють вимоги до точності проектування об'єктів?

1) від 1:5000 до 1:10 000;
2) від 1:2000 до 1:25 000;
3) від 1:5000 до 1:25 000;
4) від 1:10 000 до 1:25 000.

7. Виберіть із переліку складові побудови збірних планів і карт:

1) створення планової опорної геодезичної мережі;
2) перемальовування зображень ситуації та рельєфу;
3) дані геодезичної основи для перенесення проектів у натуру;
4) дані для здійснення картографічного моделювання.

8. Карти яких масштабів іноді використовують при значних обсягах робіт із міжгосподарського землеустрою (перевлаштування землекористувань у зонах великих водосховищ, каналів, іригаційних систем)?

1) 1:25 000 і 1:100 000;
2) 1:10 000 і 1:100 000;
3) 1:50 000 і 1:100 000;
4) 1:5000 і 1:100 000.

9. Яке основне призначення топографічних карт і планів?

1) для здійснення державного земельного кадастру, проектування плану забудови сільських населених пунктів;
2) картографічна основа для проведення інвентаризації земель;
3) для здійснення бонітування ґрунтів;
4) для проведення економічної оцінки земель.

10. Формула для розрахунку допустимої нев'язки полігона при відновленні та зйомці меж землекористувань:

1) $f_S^2 = 4 \sum_1^n m_S^2 + 4 \frac{n+1,5}{3} \left(\frac{m_\beta}{\rho} \sum_1^n S\right)^2$

2) $dD = \frac{eE}{BC + CD + DE}(BC + CD)$

3) $x = L \frac{M}{M + m}$

4) $AC = \sqrt{AB^2 - BC^2}$

Ключ до навчального тесту:
1–1; 2–1; 3–2; 4–4; 5–2; 6–3;7–1,2; 8–3; 9–1; 10–1.

Розділ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ТОЧНОСТІ ПЛАНІВ І КАРТ

2.1. Загальна характеристика, детальність і повнота планів

Плани, одержані в результаті проведення різних видів знімань, мають неоднакову детальність і повноту. Під детальністю розуміють ступінь подібності зображень на плані всіх меж контурів ситуації та рельєфу. Якщо детальність відсутня, кажуть, що зображення ситуації або рельєфу узагальнено. Під повнотою розуміють ступінь насиченості плану об'єктами місцевості, зображення яких на плані необхідне і можливе при цьому масштабі й висоті перерізу рельєфу.

Основою для складання проектів землеустрою, меліорації, планування сільських населених пунктів, проведення державного земельного кадастру є плани, одержувані методом аерофотознімання. Вони представляють собою найцінніший матеріал, що вигідно відрізняється від планів, одержаних іншими методами, відносно детальності та повноти. Ці властивості планів найоб'єктивніші, оскільки вони майже не залежать від людського фактора і досвідченості фахівців, які беруть участь в аерофототопографічних процесах.

Рельєф, що зображується на планах аерофотознімання горизонталями, відрізняється найбільшою детальністю, оскільки фотографічне зображення місцевості полегшує розпізнавання елементів рельєфу і дає можливість правильно відобразити їх на плані, хоча зображення рельєфу горизонталями за допомогою стереофотограмметричних приладів вимагає від виконавця великого виробничого досвіду й головним чином, досвіду мензулювання знімання рельєфу.

Недолік контурних фотопланів місцевості, де рельєф є важливим чинником, який потрібно враховувати при складанні проектів землеустрою, полягає в тому, що на них немає зображення рельєфу. Проте фотографічне зображення частково заповнює цей недолік, бо інженер-землевпорядник, ознайомлений із дешифруванням і зображенням рельєфу на фотопланах, до деякої міри може врахувати елементи рельєфу за фотозображенням. Крім того, при розробці проектів землеустрою рельєф місцевості може бути вивчений за матеріалами аерофотознімання за допомогою навіть простих стереоскопічних приладів.

Плани стереотопографічного наземного (фототеодолітного) знімання, що застосовується у дуже горбистій, передгірській та гірській місцевостях, мають достатню детальність і повноту, але в дещо меншій мірі, ніж плани аеро- та космознімання.

Мензульне знімання, проведене на невеликих площах у вибірковому порядку, в умовах складної ситуації дає також цінний плановий матеріал. Однак він поступається планам аерофотознімання за повнотою та детальністю. Відсутність зображення рельєфу на планах особливо відчутне у тому випадку, коли нахили місцевості, що виражаються великими величинами, часто змінюються, а їх необхідно врахувати при розробці проектів землеустрою.

Плани, складені на основі теодолітного і тахеометричного знімання, ще рідше використовують для землевпорядних цілей, вони точні тільки в тих точках місцевості, які дійсно знімають (кінці перпендикулярів при зніманні методом прямокутних координат, кінці радіусів-векторів при полярному методі знімання та ін.), і положення їх визначається величинами, вказаними в абрисах. Усі інші точки, розташовані на контурах, проведених між знятими точками, часто мають значні похибки, що є наслідком узагальнень, які допускаються при зніманні. Відсутність зображення рельєфу на планах теодолітного знімання, так само, як і на планах контурного мензульного знімання, знижує їхню цінність.

Нівелювання поверхні дає змогу детально вивчити рельєф на невеликих ділянках у рівнинній місцевості, що буває необхідним для планування поверхні рисових чеків, проектування зрошувальних чи осушувальних мереж та ін.

Нині плани нівелювання поверхні почали складати з числовими написами відміток точок, одержуваних стереофотограмметричними методами. Це дає можливість автоматизувати планування рельєфу з використанням комп’ютерної техніки і будувати цифрові моделі місцевості.

Незважаючи на різну повноту й детальність окремих видів знімань, для цілей землеустрою його виконують в умовах, за яких воно доцільне, тобто:

а) аеро- та космознімання – при дуже великому розмірі території, що знімається, особливо коли місцевість відрізняється значною контурністю ситуації, й чим складніша ситуація, тим ефективніше аеро- та космознімання;

б) мензульне знімання – застосовують на великій території із значною кількістю контурів, коли аерофотознімання з якихось причин недоцільне;

в) теодолітне знімання – на невеликих територіях із незначною кількістю контурів, прямолінійних на великій відстані.

Плани теодолітного знімання дещо поширені при виконанні геодезичних робіт у землеустрої тому, що теодолітні ходи по межах землекористування являють собою необхідну геодезичну основу для прив’язки, відводів земель, перенесення проекту в натуру та коригування плану на рівні сучасності. Однією з умов підвищення точності проектування й особливо перенесення проекту в натуру з планів мензульного та аерофотозніманя є

також прокладання теодолітних ходів по межах землекористування з прив'язкою їх до пунктів геодезичної мережі й нанесенням граничних пунктів на плани за координатами, якщо межі не проходять у лісових масивах, лісосмугах, каналах зрошувальної мережі, струмках, річках, берегах річок та ін.

2.2. Точність планів і карт

Точність плану, як правило характеризується величиною середньої квадратичної похибки положення контурної точки на плані щодо найближчого пункту головного геодезичного обґрунтування знімання (іноді під точністю плану розуміють величину середньої квадратичної похибки взаємного положення точок, що знаходяться на певній відстані одна від одної, наприклад точок одного і того ж об'єкта проектування: землекористування, поля сівозміни, ділянки контуру тощо).

Похибка положення точки є двовимірною й визначається за формулою:

$$m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \qquad (2.1)$$

в якій m_x і m_y – похибки положення точок по осях координат.

Найвірогідніше похибки положення точок характеризують «еліпсом похибок», оскільки положення точки стосовно її справжнього місця в різних напрямках може бути неоднаковим. Проте еліпсом похибок зручно і наочно характеризувати точність положення конкретної точки геодезичної мережі, ходу та ін. При оцінці точності плану «в середньому» напрямок зсуву точки можна прийняти рівноймовірним, тому точність положення точки характеризують «колом похибок» і для розрахунків точності величини m_x і m_y у формулі 2.1 приймають рівними і незалежними одна від одної.

Точність планів різних видів знімань неоднакова. Це пояснюється відмінністю геодезичних інструментів і технологічних процесів, які використовують під час знімання. Але відмінність точності планів окремих видів знімання при правильному його проведені незначна, й практично його можна вважати однаково точним, тому що ряд елементів, які складають технологічний процес того чи іншого виду знімання, має похибки, що можуть бути прирівняні до графічної точності (0,1 мм на плані). Наприклад, похибки нанесення точок і ліній на план, побудови кутів на плані, похибки трансформування аерознімків, монтажу фотопланів та ін. Ці похибки значною мірою характеризують точність планів. Приблизні величини середньоквадратичних похибок для окремих геодезичних дій при теодолітному і мензульному зніманні, які являють собою похибку положення контурної точки на плані, наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – ***Величини середніх квадратичних помилок для окремих геодезичних дій при теодолітних і мензульних зйомках***

При теодолітному зніманні у масштабі 1:10000	Наближена величина похибки, м	При мензульному зніманні у масштабі 1:10000	Наближена величина похибки, м
Похибки положення точок теодолітних ходів (у середині ходу відносно пунктів головної геодезичної мережі) залежно від похибок кутових та лінійних вимірів	1,5	Похибка положення точок геометричної мережі залежно від похибок: орієнтування планшета та викреслювання напрямів	2,0
Похибки визначення положення контурних точок залежно від помилок: 1) визначення напрямку полярним способом і визначення відстані за допомогою далекоміра.	1,0	Похибки визначення положення перехідних точок залежно від похибок: орієнтування планшета, прокреслювання направлень, визначення відстаней далекоміром і відкладання відстаней на планшеті	1,5
2) за способом перпендикулярів побудова перпендикулярів, визначення відстаней до основи перпендикулярів і довжини перпендикулярів	1,0	Похибки визначення положення контурних точок залежно від похибок: орієнтування планшета, викреслювання направлень, визначення відстаней далекоміром і відкладання відстаней на планшеті	2,0
Похибка нанесення точок теодолітних ходів на план	1,8		
Побудова напрямків і відкладання відстаней.	1,5		
Похибка нанесення контурних точок на план залежно від похибок	1,5	Похибки узагальнення ліній при проведенні їх між контурними точками	1,5
Узагальнення ліній при проведенні їх між контурними точками	0,8	Похибки прокреслювання	0,8

Графічна точність плану – це середньоквадратична похибка відкладання довжини лінії при визначенні її за планом за допомогою вимірювача і масштабної лінійки. Вона становить 0,08 мм.

Для одержання похибки положення контурних точок на плані похибки окремих геодезичних дій, зазначених у таблиці 2.1, можна прийняти незалежними і визначити за формулою:

$$mt = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2} \ . \qquad (2.2)$$

При цьому шукані похибки для теодолітного і мензульного знімання будуть приблизно однаковими і рівними, округленими до 0,4 мм на плані.

Відповідно до численних досліджень приблизно такою ж самою точністю визначаються плани аерофотознімання. Для малих за площею контурів

ситуації, розміщених на одному аерознімку фотоплану або знятих з однієї станції при мензульному або теодолітному зніманні, похибку взаємного орієнтування точок цього контуру можна вважати рівною 0,2 мм на плані.

Дещо меншу точність мають копії планів. Яких би способів копіювання не застосовували, будь-яка копія містить більші похибки, ніж оригінал, причому одні способи копіювання дають менш точні, інші – більш точні результати. Найточнішим способом, при застосуванні якого точність копії практично можна вважати такою, як точність оригіналу, є фотомеханічний, особливо якщо він враховує деформацію паперу як копії, так і оригінала.

При копіюванні за допомогою світлового стола або восківки для збереження точності копії попередньо будують на папері координатну сітку і всі точки (межі землекористувань, пункти геодезичної мережі) наносять на неї за координатами. У такому раці площі ділянок, межі яких нанесені на копії за координатами, матимуть ті ж самі похибки, що й на оригіналі (не враховуючи похибок через деформацію паперу оригіналу). Площі ділянок, які переносять на копії за допомогою воскування, світлового стола та іншого, міститимуть додаткові похибки, властиві способам копіювання.

Похибки за різних способів копіювання (крім фотомеханічного), що є наслідком недосконалості органів зору копіювальника, будуть такими:

1. При копіюванні на світловому столі або копіювальному пульті з одночасним викреслюванням копії тушшю на точність копії впливають тільки похибки одночасного копіювання і викреслені копії.

2. При копіюванні на світловому столі або на копіювальному пульті з попереднім викреслюванням копії олівцем впливають похибки:

а) копіювання (олівцем);

б) креслення копії тушшю.

3. При перекресленні через графітний папір або перетисканні безпосередньо на копію впливають похибки:

а) перетискання;

б) креслення копії тушшю.

4. При копіюванні з попереднім складанням копії на восківці впливають похибки:

а) одночасного копіювання й креслення на восківці (тушшю);

б) копіювання з восківки на папір (через світловий стіл або перетисканням);

в) креслення копії тушшю.

Якщо за такого способу копію викреслюють тушшю безпосередньо на світловому столі, то похибку креслення тушшю не враховують.

5. При копіюванні за допомогою пантографа виникають похибки:

а) обводу контурів оригіналу обвідним шпилем;

б) інструментальні (пантографа);

в) креслення копії тушшю.

6. При копіюванні за допомогою сітки квадратів із застосуванням пропорційного циркуля виникають похибки:

а) побудови сітки на оригіналі;

б) побудови сітки на копії;

в) побудови за допомогою циркуля;

г) узагальнення ліній при проведенні їх між контурними точками;

ґ) креслення копії тушшю.

Кожна з перелічених похибок (крім інструментальних похибок пантографа й узагальнення ліній при проведенні їх між контурними точками) може бути прирівняна до графічної точності, яка дорівнює 0,08 мм.

Інструментальні похибки пантографа можуть бути різними за величиною залежно від конструктивних особливостей інструмента. У рідких випадках величина цих похибок наближається до графічної точності, в інших вона перевищує її в 2–3 рази й навіть більше. Якщо пантографування виробляється на збільшення чи зменшення, то, крім перерахованих похибок будуть відповідно збільшуватися або зменшуватися на копії всі похибки, що характеризують точність плану оригіналу, тобто похибки положення точок ділянок і контурів на плані, а також похибки обводу контурів оригіналу обвідним шпилем.

Згідно з інструкцією з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 середні похибки розташування на плані об'єктів та контурів місцевості з чіткими обрисами відносно найближчих точок знімального обґрунтування не повинні перевищувати 0,5 мм, а у гірських районах – 0,7 мм.

Похибку положення контурної точки на копії в перших чотирьох випадках визнають за формулою:

$$mt' = \sqrt{m_t^2 + n * 0{,}08^2}, \tag{2.3}$$

у п'ятому випадку:

$$mt' = \sqrt{k^2(m_t^2 + 0{,}08^2) + 5*0{,}08^2}, \tag{2.4}$$

у шостому випадку:

$$mt' = \sqrt{k^2(m_t^2 + 0{,}08^2) + 15^2 + 0{,}08^2}, \tag{2.5}$$

при фотомеханічному викопіюванні :

$$mt' = k*mt. \tag{2.6}$$

У наведених формулах m_t – похибка положення точки на оригіналі, мм, n – кількість окремих дій, пов'язаних зі складанням копії; k – відношення масштабу копії до масштабу оригіналу.

У формулах (2.4) і (2.5) величина 0,08 мм у дужках є похибка суміщення обвідного шпиля пантографа або ніжок пропорційного циркуля з точками на оригіналі. В формулі (2.4) величина $5 \times 0{,}08^2 = (2 \times 0{,}08)^2 + +0{,}08^2$ складається

з похибки, властивої конструктивної особливості пантографа (2 × 0,08 мм), і похибки креслення копії тушшю (0,08 мм). У формулі (2.5) передостання величина 0,15 мм – похибка узагальнення ліній, які проводять між точками, що наносяться на копію за допомогою пропорційного циркуля, а остання величина 0,08 мм є також похибка креслення копії тушшю. У формулах (2.3) – (2.6) не враховується деформація паперу копії й оригіналу, а в формулі (2.6) – оптико-механічні недоліки копіювальних приладів.

Приклади значень похибок, обчислених за вказаними формулами, наведено у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – ***Величини похибок положення контурної точки на копії плану***

Випадки	Похибки $m_{t'}$ мм за формулами			
	(2.3)	(2.4)	(2.5)	(2.6)
Масштаб копії дорівнює масштабу оригіналу, $k = 1$, $m_{t'} = 0{,}4$ мм, $n = 2$	0,42	0,45	0,44	0,4
Масштаб копії 1:5000, масштаб оригіналу 1:10 000, $k = 2$, $m_{t'} = 0{,}4$ мм	–	0,83	0,83	0,8
Масштаб копії 1:10 000, масштаб оригіналу 1:5000, $k = 0{,}5$, $m_{t'} = 0{,}4$ мм	–	0,27	0,27	0,2

Із таблиці 2.2 видно, що головною похибкою, яка характеризує точність копії плану, є та, що характеризує точність оригіналу, і при правильному копіюванні не вносяться відчутні додаткові похибки, які значно б знизили точність копії порівняно з точністю оригіналу. Лише при зменшенні масштабу копії похибки копіювання стають відчутними, якщо їх порівнювати з похибками положення контурних точок на копії.

2.3. Точність зображення рельєфу на плані й карті

Точність зображення рельєфу на плані, як правило, характеризують середньоквадратичною похибкою позначки точки, що лежить на горизонталі, тобто середньоквадратичною похибкою положення точки на горизонталі за висотою. Цю похибку визначають за формулою Коппе:

$$mh = a \times b\operatorname{tg} v, \qquad (2.7)$$

де a – величина, яка характеризує точність визначення положення точки земної поверхні за висотою (рис. 2.1), куди входять похибки: визначення відмітки станції та перевищення між станцією і пікетом, установлення перевищення за таблицями, номограмами тощо, внаслідок впливу топографічної шорсткості земної поверхні й неоднорідності скату між пікетами (узагальнення рельєфу);

b – величина, що характеризує зрушення точки в горизонтальній площині внаслідок похибок установлення планового положення станції, з якої визначають пікети, їхнє планове положення, інтерполювання горизонталей між пікетами, проведення горизонталей і викреслювання їх тушшю;
v – кут нахилу місцевості.

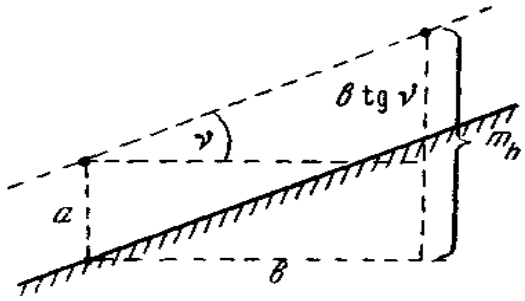


Рис. 2.1. Зображення рельєфу

Для формули (2.6) багатьма дослідниками обчислювалися величини a і b стосовно різних за масштабами планів та для неоднакових умов місцевості.

Так, професор М.Г. Видуєв запропонував формулу для визначення похибки положення горизонталі за висотою залежно від висоти перерізу рельєфу hc, масштабу плану 1/М і нахилу місцевості:

$$m_h = (0{,}19h_c + 1{,}6 \times 10 - 4M \times i) \text{ м}. \qquad (2.8)$$

При $h_c = 2{,}5$ м, М = 10 000, $i = 0{,}05 (v \approx 3°) m_h = 0{,}56$ м.

Також набула поширення формула вигляду:

$$m_h^2 = m_a^2 + m_b^2 \operatorname{tg}^2 v + m_\omega^2 , \qquad (2.9)$$

де m_a – похибка інструментального визначення відміток пікетів; m_b – те ж саме, що і b у формулі (2.7); $m_{щ}$ – похибка через узагальнення рельєфу.

Так, професором В.Д. Большаковим була запропонована формула:

$$m_h^2 = m_a^2 + (m_b M * i)^2 + \omega^2 (l + \frac{h_c}{i}) , \qquad (2.10)$$

де M, i і h_c – ті ж самі величини, що й у формулі (2.8); ω – коефіцієнт, який коливається в межах 0,010–0,015 для місцевості з кутом нахилу до 4°; l – середня відстань між пікетами.

М.Ф. Віняцький встановив, що $c_o = 0{,}015$ і відповідно до (2.10) одержав:

$$m_h^2 = (0{,}1 \times h_c)^2 + (0{,}0008 \times M \times i)^2 + 0{,}015^2 l. \qquad (2.11)$$

Дослідження кафедри геодезії Білоруської СГА показали, що:

$$m_h^2 = 0{,}07^2 + (0{,}00055 \times \operatorname{tg} v \times M)^2 + m_\omega^2 , \qquad (2.12)$$

де m_ω дорівнює: для масштабу 1:1000–0,08 м, 1:2000–0,11, 1:5000 – 0,13 м.

С.В. Взнуздаєв, досліджуючи точність положення горизонталі на планах масштабу 1:2000, запропонував формулу:

$$m^2_h = A^2 + (B tg v)^2 + C^2, \qquad (2.13)$$

де С – похибка внаслідок впливу топографічної шорсткості, яка коливається у межах від 0,01 м (для чистої луки) до 0,11 м.

Результати обчислення за наведеними формулами певною мірою можуть характеризувати точність зображення рельєфу горизонталями на фотопланах комбінованого аерознімання та із більшим наближенням – на планах стереотопографічного знімання.

При копіюванні горизонталей на проектний план похибка положення горизонталі зміниться в результаті зміни величини b у формулі (2.7) у стільки разів, у скільки m'_t більше або менше m_t у формулах (2.3) – (2.6).

2.4. Точність відстаней на плані

Якщо положення окремих точок на плані помилкове, то відстані й напрямки між цими точками будуть установлені помилково незалежно від способу визначення.

Для одержання залежності похибки відстані та напрямку між точками від похибок їхнього положення уявімо, що кожна із точок визначається координатами x_1 та y_1, x_2 і y_2 з середньоквадратичними похибками m_{x1} та m_{y1}, m_{x2} і m_{y2}. Тоді відстані між точками обчислюють за формулою:

$$S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 , \qquad (2.14)$$

яка являє собою залежність між функцією S й аргументами x_1 і y_1, x_2 та y_2.

Для одержання залежності між середньоквадратичними похибками функції й аргументів візьмемо її повний диференціал:

$$2sxd_S = -2\,(x_2 - x_1)\,dx_1 + 2\,(x_2 - x_1)\,dx_2 - 2\,(y_2 - y_1)\,dy_1 + 2(y_2 - y_1)_2\,dy.$$

Скоротивши обидві частини рівності на 2, перейдемо від диференціалів до середньоквадратичних похибок:

$$s^2 m^2_s = (x_2 - x_1)^2 m^2_{x1} + (x_2 - x_1)^2\, m^2_{x2} + (y_2 - y_1)^2\, m^2_{y1} + (y_2 - y_1)^2\, m^2_{y2}\,.$$

Приймемо:

$$m_{x1} = m_{y1} = m_{k1},\ m_{x2} = m_{y2} = m_{k2},$$

тоді:

$$s^2 m^2_s = m_{k1}{}^2((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2) + m_{k2}{}^2((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2).$$

Але згідно з (2.14) співмножники являють собою s_2, тому, провівши скорочення, одержимо:

$$m^2_s = m^2_{k1} + m^2_{k2}$$

На основі (2.1) $m^2_{t1} = 2m^2_{k1}$ і $m^2_{t2} = 2m^2_{k2}$, а $m^2_{k1} = Sm^2_{t1}$ та $m^2_{k2} = Sm^2_{t2}$, тому:

$$m^2_s = 1/2(m^2_{t1} + m^2_{t2})$$

Якщо $m_{t1} = m_{t2} = m_t$, то $m_s = m_t$, тобто середньоквадратична похибка відстані між точками на плані дорівнює середній квадратичній похибці положення точки.

Похибка вимірювання відстані між точками 1 і 2 за планом за допомогою вимірювача і масштабної лінійки, з урахуванням точності плану, визначають за формулою:

$$m_{S0} = \sqrt{m_t^2 + m_r^2}\ .$$

При $m_t = 0{,}4$ мм і $m_г = 0{,}08$ мм $m_{s0} = 0{,}41$ мм.

Тобто точність вимірювання відстаней між точками за планом визначається, головним чином, точністю плану.

2.5. Точність напрямків на плані

Точність напрямку, що характеризується азимутом (дирекційним кутом) лінії між двома точками, на плані залежить від похибок положення цих точок. Нехай становище кожної з точок визначається координатами x_1 і y_1, x_2 і y_2 із середньоквадратичними похибками m_{x1} і m_{y1}, m_{x2} та m_{y2}.

Тоді дирекційний кут лінії в напрямку з точки 1 до точки 2 визначають за формулою:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \qquad (2.15)$$

Для встановлення залежності між середньоквадратичними похибками дирекційного кута лінії та координат її кінців про здиференціюємо вираз (2.6):

$$\frac{1}{\cos^2 a} da = -\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2} dx_1 + -\frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2} dx_2 - \frac{1}{x_2 - x_1} dy_1 + \frac{1}{x_2 - x_1} dy_2 .$$

Перейдемо від диференціалів до середньоквадратичних похибок:

$$\frac{1}{\cos^2 a} m_a^2 = -\frac{(y_2 - y_1)^2}{(x_2 - x_1)^4} m_{x1}^2 + \frac{(y_2 - y_1)^2}{(x_2 - x_1)^4} m_{x2}^2 - \frac{1}{(x_2 - x_1)^2} m_{y1}^2 + \frac{1}{(x_2 - x_1)^2} m_{y2}^2 .$$

Приймемо: $m_{x_1} = m_{y_1} = m_{k_1}$, $m_{x_2} = m_{y_2} = m_{k_2}$, тоді:

$$\frac{1}{\cos^4\alpha} m_\alpha^2 = \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{(x_2 - x_1)^4} m_{k_1}^2 + \frac{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}{(x_2 - x_1)^4} m_{k_2}^2 .$$

Враховуючи (2.13), а також, що $m^2_{k1} = Sm^2_{t1}$ і $m^2_{k2} = Sm^2_{t2}$, напишемо:

$$\frac{1}{\cos^4 \alpha} m_\alpha^2 = \frac{S^2}{2(x_2 - x_1)^4} m_{t_1}^2 + \frac{S^2}{2(x_2 - x_1)^4} m_{t_2}^2$$

Але

$$\frac{x_2 - x_1}{s} = \cos\delta,$$

тому:

$$m_\alpha^2 = \frac{1}{2S^2}(m_{t_1}^2 + m_{t_2}^2). \qquad (2.16)$$

Якщо $m_{t1} = m_{t2} = m_t$, то:

$$m_a = \frac{m_t}{s}. \qquad (2.17)$$

Формули (2.16) і (2.17) m_α виражені у радіанній мірі. Якщо їх виразити у мінутах, тоді:

$$m'^2_\alpha = \frac{1}{2}(m_{t_1}^2 + m_{t_2}^2)(\frac{3438}{s})^2$$

та

$$m'_\alpha = \frac{m_t}{s} 3438'.$$

Формули (2.16) і (2.17) показують, що похибка дирекційного кута збільшується зі зменшенням відстані між точками. Так, при s = 50 мм на плані m_t = 0,4 мм $m'_б$ = 27′, а це означає що результат вимірювання напрямку ліній між точками на плані має велику похибку.

Похибку вимірювання напрямку за планом за допомогою транспортира з врахуванням точності плану визначають за формулою:

$$m_{\alpha_0} = \sqrt{m'^2_\alpha + m^2_{\alpha T}}.$$

Якщо m'_α = 27', а кут за допомогою транспортира вимірюють з точністю $m_{\alpha T}$ = 7', то $m_{\alpha 0}$ = 27',9, тобто точність напрямками між точками за планом визначається головним чином, точністю плану.

Ще більшою похибкою характеризується точність кута β (рис. 2.2), яку вираховують за формулою:

$$\beta = \alpha_{21} - \alpha_{23} = \text{arctg}\,(y_1 - y_2)/(x_1 - x_2) - \text{arctg}\,(y_3 - y_2)/(x_3 - x_2). \qquad (2.18)$$

Після виконання диференціювання цього виразу перейдемо до середньоквадратичних похибок та прийнявши $m_x = m_y = m_k$, одержимо:

$$m_\beta^2 = \frac{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}{S_{21}^4} m_{k_1}^2 + \frac{(y_3 - y_2)^2 + (x_3 - x_2)^2}{S_{23}^4} m_{k_2}^2 + \{\frac{(y_1 - y_2)^2}{S_{21}^4} +$$
$$+ \frac{(y_3 - y_2)^2}{S_{23}^4} - 2\frac{(y_1 - y_2)(y_3 - y_2)}{S_{21}^2 S_{23}^2} + \frac{(x_1 - x_2)^2}{S_{21}^4} + \frac{(x_3 - x_2)^2}{S_{23}^4} -$$
$$- 2\frac{(x_1 - x_2)(x_3 - x_2)}{S_{21} S_{23}^2} \} m_{k_2}^2$$

З урахуванням (2.1) і (2.13) після перетворення одержимо:

$$m_\beta^2 = \frac{1}{2S_{21}^2} m_{t1}^2 + \frac{1}{2S^2{}_{23}} m^2{}_t 3 + \frac{1}{2}(\frac{1}{S_{21}^2} + \frac{1}{S_{23}^2} - \frac{2\cos\beta}{S_{21} S_{23}}) m_{t2}^2 \qquad (2.19)$$

При $m_{t1} = m_{t2} = m_{t3} = m_t$.

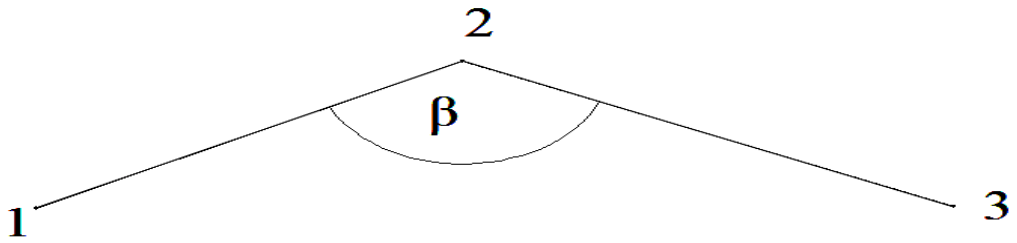


Рис. 2.2. Точність вимірювань

$$m_\beta^2 = m_t^2 (\frac{1}{S_{21}^2} + \frac{1}{S_{23}^2} - \frac{\cos\beta}{S_{21} S_{23}}) . \qquad (2.20)$$

Якщо $S_{21} = S_{23} = S$, $\beta = 90°$, то:

$$m_{\beta=90^\circ} = \frac{m_t}{s}\sqrt{2} , \qquad (2.21)$$

а при $\beta = 180°$:

$$m_{\beta=180^\circ} = \frac{m_t}{s}\sqrt{3} , \qquad (2.22)$$

що значно перевищує похибку, одержану за формулою (2.17.), причому при $\beta = 180°$ похибка стає максимальною.

При дуже гострих кутах β похибка кута наближається до одержаної за формулою (2.17).

2.6. Точність площ контурів на плані

Похибки положення точок контуру спричиняють похибку його площі. Щоб визначити похибку площі контуру залежно від похибок положення поворотних точок цього контуру, треба, як і в попередніх двох параграфах, уявити, що кожна точка визначається на плані незалежно від інших і положення її характеризується координатами x_i, y_i із середньоквадратичними похибками m_{xi} , m_{yi}.

Залежність між площею контуру і координатами його поворотних точок можна уявити відомою формулою:

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) . \qquad (2.23)$$

Для одержання залежності між середньоквадратичними похибками площі та координат точок контуру продиференціюємо цей вираз за всіма змінними x_i і y_i:

$$2dP = \sum_{i=1}^{n} (y_{i+1} - y_{i-1}) dx_i + \sum_{i=1}^{n} x_i dy_{i+1} - \sum_{i=1}^{n} x_i dy_{i-1} .$$

Щоб винести за дужки значення dy_i врахуємо, що:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i dy_{i+1} = \sum_{i=1}^{n} x_{i-1} dy_i \text{ і } \sum_{i=1}^{n} x_i dy_{i-1} = \sum_{i=1}^{n} x_{i+1} dy_i ,$$

тоді:

$$2dP = \sum_{i=1}^{n} (y_{i+1} - y_{i-1}) dx_i + \sum_{i=1}^{n} (x_{i-1} - x_{i+1}) dy_i .$$

Перейдемо від диференціалів до середньоквадратичних похибок:

$$4m_P^2 = \sum_{i=1}^{n} (y_{i+1} - y_{i-1})^2 m_{x_i}^2 + \sum_{i=1}^{n} (x_{i-1} - x_{i+1})^2 m_{y_i}^2 .$$

Прийнявши $m_{xi} = m_{yi}$ і врахувавши (2.1), одержимо:

$$m_P^2 = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^{n} \{(x_{i-1} - x_{i+1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2\} m_{t_i}^2 .$$

Але величина у фігурних дужках є квадратами діагоналей, проведених між точками n – 2, 1 – 3, 2 – 4 і т. д. (рис. 2.3б, а). Ці діагоналі D_i можуть бути виражені через відстані S_{i-1} і S_i між точками i – 1 та i +1 та внутрішні кути β_i, при точках i так:

$$(x_{i+1} - x_{i-1})^2 + (y_{i+1} - y_{i-1})^2 = S^2_{i-1} + S_i^{\,2} - 2 S_{i-1} S_i \cos\beta_i = D_i ,$$

тоді:

$$m_P^2 = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{n}(s_{i-1}^2 + s_i^2 - 2s_{i-1}s_i \cos\beta_i)m_{t_i}^2, \qquad (2.24.)$$

або

$$m_P^2 = \frac{1}{8}\sum_{i=1}^{n} m_{t_i}^2 D_i^2. \qquad (2.25)$$

За формулами (2.24) і (2.25) можна визначити середньоквадратичну похибку площі фігури будь-якої форми.

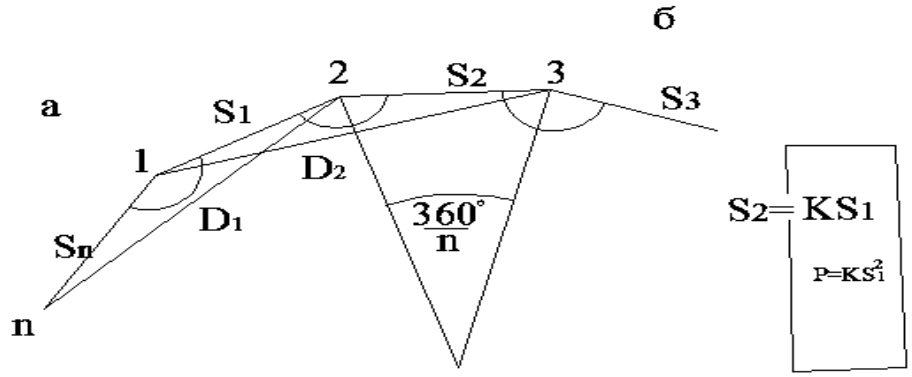


Рис. 2.3. Схема проведення розрахунків для визначення площ

Якщо ділянка (контур) за формою подібний до правильної геометричної фігури, коли можна прийняти:

$$s_1 = s_2 = \ldots = s_n = s, \quad \beta_1 = \beta_2 = \ldots = \beta_n = \beta,$$

$$m_{t1} = m_{t2} = \ldots = m_{tn} = m_t,$$

тоді, згідно з (2.24):

$$m_P = s\sin\frac{\beta}{2} m_t \sqrt{\frac{n}{2}}.$$

Але з рисунка 2.3 видно, що:

$$\frac{\beta}{2} = 90^\circ - \frac{180^\circ}{n},$$

тому:

$$m_P = s\cos\frac{180^\circ}{n} m_t \sqrt{\frac{n}{2}}.$$

Відомо, що для правильного багатокутника:

$$P = \frac{1}{4}s^2 n\,\mathrm{ctg}\frac{180^\circ}{n},$$

звідки:

$$s = \sqrt{\frac{4P}{n\text{ctg}\frac{180^\circ}{n}}},$$

тоді:

$$m_P = m_t \sqrt{\sin\frac{360^\circ}{n} P}\,. \qquad (2.26)$$

Для фігури прямокутної форми з чотирма точками поворотів, із відношенням сторін 1:*K* (рис. 2.3, б), при $m_{ti} = m_t$ згідно (2.25) одержимо:

$$m_P^2 = 1/8 \times 4(s_1^2 + s_2^2)m_t^2 = 1/2(s_1^2 + K^2 s_1^2)m_t^2 = 1/2\, s_1^2(1+K^2)\, m_t^2$$

Але з рисунка. 2.3, б видно, що:

$$S_1^2 = \frac{P}{K},$$

тому:

$$m_P = m_t \sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}\,. \qquad (2.27)$$

Для фігури, за формою близькою до квадрата, при $n = 4$ і К = 1 згідно з (2.26) і (2.27) матимемо:

$$m_P = m_t \sqrt{P}\,. \qquad (2.28)$$

Щоб формули (2.26) і (2.28) набули вигляду, зручного для апріорного розрахунку точності визначення площ на планах різних масштабів, виразимо величини, які входять у ці формули, в метрах, наприклад:

$$m_{P\,\text{м}^2} = m_{t_\text{м}} \sqrt{P_{\text{м}^2}}\,.$$

Тепер для виразу m_P і P у гектарах на місцевості та m_t у сантиметрах на плані, запишемо:

$$m_{P_\text{га}} 10000 = \frac{m_{t_\text{см}}}{100} M \sqrt{P_\text{га} 10000}\,,$$

тут M – знаменник числового масштабу плану.

$$m_{P_\text{га}} = m_{t_\text{см}} \frac{M}{10000}\sqrt{P_\text{га}}\,. \qquad (2.29)$$

Порівняння формул (2.26) – (2.28) показує, що похибки площ фігур значно зменшуються зі збільшенням кількості n точок фігур, трохи зростають зі

збільшенням їхньої витягнутості K. Тому обчислення за формулою (2.29) дає можливість одержати наближене, дещо перебільшене уявлення про похибки визначення площ контурів плану. Але для точнішого подання інформації про похибки, їх можна визначати за формулою, виведеного на основі (2.25) і (2.29) формул:

$$m_{P_{\text{га}}} = m_{t_{\text{см}}} \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{га}}} \frac{4\sqrt{0{,}5n-1}}{n} \frac{K+1}{2\sqrt{K}}. \qquad (2.30)$$

Звичайно, що при $n = 4$ і $K = 1$ за цією формулі одержуємо (2.29).

При $m_t = 0{,}04$ см, $1{:}M = 1{:}10\ 000$, $P = 100$ га, $n = 10$; $K = 1{,}5$, за (2.30) матимемо:

$$m_P = 0{,}04 \frac{10000}{10000} \sqrt{100} \frac{4\sqrt{0{,}5 \times 10 - 1}}{10} \frac{1{,}5+1}{2\sqrt{1{,}5}} = 0{,}33 \text{ га}.$$

2.7. Спотворення ліній і площ у проекції Гауса

Якщо план складений на площині в проекції Гауса, то довжини ліній і значення площ ділянок, виміряних на плані або обчислених за координатами точок, завжди більше від відповідних горизонтальних прокладень цих же ліній та площ на місцевості.

Іншими словами, масштаб зображень ліній на площині в проекції Гауса завжди більш від того масштабу, який прийнятий для розробки плану. При цьому укрупнення масштабу тим більше, чим далі лінія або ділянка розташовані від осьового меридіана зони.

Відомо, що лінія, виміряна на місцевості, при перенесенні (редукуванні) її на площину проекції Гауса повинна бути збільшена, тобто:

$$s_к = s + \frac{1}{2} s (\frac{y}{R})^2, \qquad (2.31)$$

де S – горизонтальне прокладення лінії місцевості; y – ордината (відстань від осьового меридіана) середини цієї лінії; R – середній радіус кривизни земного сфероїда, який можне дорівнювати 6370 км.

Величину називають відносним спотворенням лінії. Значення ординати на краю шестиградусної зони в середніх широтах приблизно дорівнює 200 км (для широти 53°), у південних широтах (40°) ця величина перевищує 250 км.

При $y = 200$ км величина відносного спотворення лінії становить:

$$\frac{1}{2} (\frac{200}{6370})^2 \approx \frac{1}{2000}.$$

Отже, якщо за планом (або обчисленням за координатами) в проекції Гауса одержано горизонтальне прокладення лінії завдовжки 1000 м, то на

місцевості воно буде коротшими на 0,5 м. У міру наближення лінії до осьового меридіана відносне спотворення її буде зменшуватися пропорційно до квадрата відстані від осьового меридіана, і навіть при y =100 км спотворення приблизно дорівнюватиме 1/8000.

Таким чином, спотворенням ліній на площині в проекції Гауса в ряді випадків можна знехтувати, а проте на краю шестиградусної зони його слід враховувати, особливо якщо значення лінії потрібно знати з підвищеною точністю. Спотворення ліній сприятиме відповідно і спотворення площ ділянок (контурів).

Проекція Гауса – рівнокутна (конформна), тому для невеликої ділянки (практично у кілька тисяч або навіть десятки тисяч гектарів) його зображення на площині в проекції Гауса можна вважати подібним до горизонтального її прокладення на місцевості. Тоді значення площі цієї ділянки на місцевості P й одержане за планом в проекції P_Γ будуть зіставлятися як квадрати подібних сторін, тобто:

$$\frac{P}{P_\Gamma} = \frac{S^2}{S_\Gamma^2},$$

або на підставі формули (2.31):

$$\frac{P}{P_\Gamma} = \frac{1}{(1+\frac{y^2}{2R^2})^2}.$$

Перемножуючи чисельник і знаменник правої частини на $(1+y^2/2R^2)^2$ і нехтуючи малими величинами порядку й менше, одержимо $y^4/4R^4$:

$$P = P_\Gamma - P_\Gamma(\frac{y}{R})^2, \qquad (2.32)$$

де y/R^2 – відносне спотворення площі, яка в два рази більша від відносного спотворення лінії.

Якщо y = 200 км, відносне спотворення площі дорівнює 1/1000, то площу в 1000 га, одержану за планом або обчислену за координатами у проекції Гауса, треба зменшити на 1 га.

Із наведеного прикладу видно, що для невеликих площ поправку за деяким винятком можна не враховувати, а для великих площ її слід враховувати лише на краях шестиградусних зон.

Слід мати на увазі, що якщо обчислені тим чи іншим способом площі ділянок (контурів) пов'язані в трапеції, встановленій в розграфленні, причому площа трапеції визначена за спеціальними таблицями (в яких вона здається невикривленою), то поправок у площу ділянки не вводять, оскільки вони вже механічно введені в процесі пов'язання площ.

Крім розглянутих спотворень, лінії й площі на планах, побудованих на основі державної геодезичної мережі, мають дещо зменшене значення внаслідок того, що координати пунктів належать не до поверхні Землі, а до поверхні еліпсоїда.

Площу горизонтального прокладення ділянки визначають за формулою:

$$P=P_0+2P_0(H/R),$$

де H – середня відмітка ділянки; R – радіус Землі; $2H/R$ – поправочний коефіцієнт до площі при переході від поверхні еліпсоїда до горизонтального прокладення.

Так, при P_0 = 1000 га, H = 1000 м,

$$P = 1000 + 2000(1/6370) = 1000{,}31 \text{ га}.$$

Довжина горизонтального прокладання лінії визначиться за формулою:

$$S = s_0 + s_0\,(H/R)$$

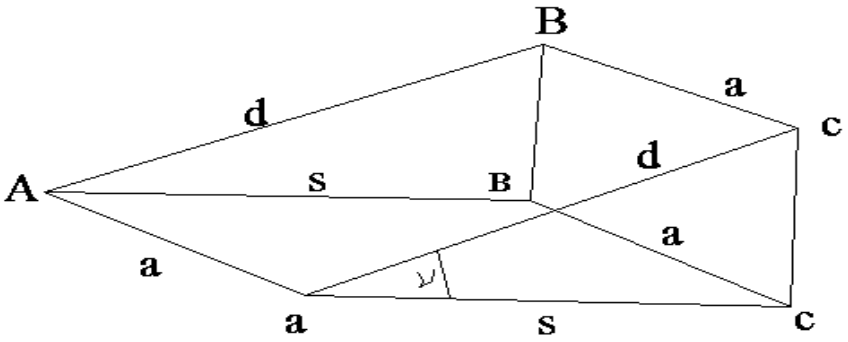


Рис. 2.4. Площа фізичної поверхні земельної ділянки

Площа фізичної (топографічної) поверхні земельної ділянки $ABCD = B$ф (рис. 2.4) завжди більша від її горизонтального прокладення $AbcD = P$ і ця різниця має вигляд:

$$\delta P = P_ф - P = ad - as - a\,(d - s) = ad\,(1 - \cos v) = P_ф - P_ф \cos v$$

і збільшується зі зростанням нахилу, який характеризується кутом нахилу v. Одержану формулу можна перетворити так:

$$\delta P = P_ф\,(1 - \cos v) = 2P_ф \sin^2 (v/2).$$

При малих кутах v можна замінити нахилом і стверджуючи, що:

$$\sin v \approx \operatorname{tg} v \approx i \text{ і } P_ф \approx P,$$

тоді:

$$\delta P = P_ф - P \approx 2P\,(t^2/4) \text{ та } P_ф \approx P + P\,(t^2/2).$$

Наведена формула правильна для площ ділянок будь-якої суми площ ділянок з однаковим нахилом.

Наприклад, при P = 1000 га i = 0,05 ($V \approx 3°$),

$$P_ф = 1000 + 1000 \times 0{,}5 \times 0{,}05^2 = 1001{,}25 \text{ га}.$$

Для сільського господарства важливо знати й площу горизонтального прокладення, оскільки кількість рослин, які стоять вертикально, визначається площею горизонтального прокладення ділянки, і площу фізичної поверхні для обліку обсягу заходів щодо агролісомеліорації, терасування схилів та ін.

2.8. Точність визначення відміток, перевищень і нахилів за горизонталями плану

Похибки відміток точок, що лежать на горизонталях, можуть бути обчислені за формулою (2.8). Якщо точка знаходиться між горизонталями і відмітка її визначається шляхом інтерполяції, то, як показали дослідження похибка відмітки точки близька до похибки положення горизонталі й, отже, може бути обчислена за цією ж формулою.

Середню квадратичну похибку перевищення h до між точками 1 і 2 з відмітками H_1 і H_2, що дорівнює $h = H_2 - H_1$, можна визначити за формулою:

$$m_h^2 = m_{H_1}^2 + m_{H_2}^2 .$$

При $m_{H1} = m_{H2} = m_H$, отримаємо:

$$m_h = m_H \sqrt{2} . \qquad (2.33)$$

Отже, формулу (2.33) можна застосувати в тому разі, якщо H_1 і H_2 є відмітками точок, які знаходяться на значній відстані й визначені незалежно одна від одної, тобто по несуміжних горизонталях, для проведення яких використані різні пікети. Крім того, на похибку положення кожної горизонталі при малих висотах перерізу рельєфу впливають, головним чином, похибки через топографічну шорсткість і узагальнення рельєфу (маються на увазі невеликі поглиблення й висоти між пікетами, які не помічає топограф при зйомці або фотограмметрист при рисуванні рельєфу на стереообладнанні та не враховуються при проведенні горизонталей). Ці похибки при невеликій відстані між точками дають підставу вважати величини H_1 і H_2 залежними, внаслідок чого правильніше в таких випадках вживати:

$$m_h \approx m_H .$$

Середньоквадратичну похибку нахилу, яку визначають за горизонталями плану, можна одержати виходячи з відомої формули:

$$i = \frac{h}{s} \cdot \qquad (а)$$

Для цього, як і в попередніх параграфах, можна знайти повний диференціал функції аргументів *h* і *s*:

$$di = \frac{1}{s}dh - \frac{h}{s^2}ds = i\frac{dh}{h} - i\frac{ds}{s},$$

і перейти до середньоквадратичних похибок:

$$m_i^2 = i^2\{(\frac{m_h}{h})^2 + (\frac{m_s}{s})^2\},$$

або використовувати відоме відношення між середньоквадратичними похибками функції й аргументів:

$$m_i^2 = (\frac{\partial i}{\partial h}m_h)^2 + (\frac{\partial i}{\partial s}m_s)^2,$$

згідно з яким:

$$m_i^2 = (\frac{1}{s}m_h)^2 + (\frac{-h}{s^2}m_s)^2 = i^2\{(\frac{m_h}{h})^2 + (\frac{m_s}{s})^2\}.$$

Можна попередньо злогарифмувати вираз (а):

$$ln\, i = ln\, h - ln\, s,$$

потім здиференціювати:

$$\frac{di}{i} = \frac{dh}{h} - \frac{ds}{s}$$

і від диференціалів перейти до середньоквадратичних похибок:

$$\left(\frac{m_i}{i}\right)^2 = \left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_s}{s}\right)^2.$$

Але відносна похибка t_s/s вимірювання відстані на плані в кілька разів менша від відносної похибки визначення перевищення, тому можна прийняти:

$$\frac{m_i}{i} \approx \frac{m_h}{h}, \qquad (2.34)$$

тобто з якою відносною похибкою матимемо перевищення та з якою відносною похибкою одержимо нахил. Ураховуючи (а), із формули (2.34) матимемо:

$$m_i \approx \frac{m_h}{s}. \qquad (2.35)$$

Формула (2.35) показує, що точність визначення нахилу знижується зі зменшенням відстані *s*.

Наприклад, нахил обчислюють за планом між сусідніми горизонталями з висотою перерізу 2,5 м на відстані 50 м; середньоквадратична похибка визначення перевищення m_h = 0,5 м. Тоді i = 0,05±0,01 або в градусній мірі кут нахилу місцевості, буде:

$$v = 0{,}05–57{,}3° \pm 0{,}01 \times 57{,}3° = 2{,}9° \pm 0{,}6°.$$

Наведений приклад свідчить, що нахил обчислено з відносною похибкою 1/5, або 20%. Зі збільшенням відстані (через 1–2 горизонталі при однакових закладеннях між ними, тобто при однорідному нахилі) відносна похибка визначення нахилу буде пропорційно зменшуватися. Так, якщо при тій же самій висоті перерізу рельєфу 2,5 м перевищення визначено через одну горизонталь і становить 5 м ± 0,5 м, а s = 100 м, то згідно з (2.35)

$$i = 0{,}05 \pm 0{,}005,$$

$$v = 0{,}05 \times 57{,}3° \pm 0{,}005 \times 57{,}3° = 2{,}9° \pm 0{,}3°,$$

тобто у такому разі нахил визначений із точністю до 10%. Тому при рівності закладення між горизонталями нахил слід розраховувати за якнайбільшою відстанню.

2.9. Деформація паперу та його облік при роботі з планом

При визначенні площ за планом графічним або механічним способом (за допомогою планіметра і палеток) враховують деформацію паперу. Величина деформації характеризується коефіцієнтом деформації, зумовленим у двох взаємно перпендикулярних напрямках за формулою:

$$q=(l_0–l)/l_0\,, \qquad (2.36)$$

де l_0 – теоретична довжина лінії, визначеної на плані (наприклад, довжина сторін кількох квадратів координатної сітки); l – результат виміру цієї лінії за планом.

Приклад:

$$l_0 = 4000 \text{ м}, \; l = 3980 \text{ м}.$$

Тоді

$$q = (4000–3980)\,/4000 = +0{,}005 = +1\,/\,200.$$

Коефіцієнт деформації буває різним: 1:400; 1:200; 1:100 і навіть 1:50. Його величина залежить від сорту паперу, умов зберігання плану, погоди, часу, що минув із моменту складання плану.

Папір, наклеєний на алюміній або високосортну фанеру, практично не деформується, а той, що наклеєний на полотно, деформується сильніше, ніж ненаклеєний.

Копії з планшетів, видрукувані на машині, деформуються під час друкування, причому в напрямку руху папір розтягується, а у поперечному

напрямку стискається. Через деякий період його деформація дещо зменшується, але все ж залишається значною. Особливо дуже деформується папір від згортання його в трубку або складання.

Якщо папір деформується у двох взаємно перпендикулярних напрямках однаково, то врахувати деформацію неважко. Навпаки, при нерівномірній деформації визначити її неможливо, якщо задана лінія спрямована під кутом до лінії координатної сітки. У зв'язку з необхідністю врахування деформації паперу в лінії, визначені за планом, вводять поправки.

Нехай l – результат вимірювання лінії на деформованому плані. Потрібно визначити відповідне їй горизонтальне положення на місцевості l_0, тобто ввести поправку за деформацію паперу.

На основі формули (2.36) напишемо:

$$l_0 = l / (1–q).$$

Помноживши чисельник і знаменник на $(1 + q)$ і не враховуючи за меншості величину q^2, одержимо:

$$l_0 = l + lq, \qquad (2.37)$$

де lq – поправка до лінії l, зумовлена деформацією паперу.

Приклад.

$$l = 323{,}0 \text{ м}; \; q = +1/200;$$

$$l_0 = 323{,}0 + (323{,}0 \times (1 / 200)) = 324{,}6 \text{ м}.$$

Якщо поправка в лінію менша від точності масштабу, то її не вводять у результат вимірювання лінії за планом.

По лініях, виправлених за деформацією паперу, обчислюють площі фігур. Проте значно простіше обчислювати поправки і площі фігур, визначені за результатами вимірювань ліній на плані, який деформувався.

Нехай за невиправленими за деформацією результатами вимірювань на плані основи l і висоти h одержана площа:

$$P=1/2lh. \qquad (а)$$

Значення площі P_0, виправлене за деформацією паперу, буде:

$$P_0=1/2l_0h_0. \qquad (б)$$

Згідно з (2.37) запишемо:

$$P_0 = \frac{1}{2}(l + lq)(h + hq) = \frac{1}{2}lh(1 + q)^2.$$

Врахувавши (а) і відкинувши до дрібниці q^2, одержимо:

$$P_0 = P + 2Pq. \qquad (2.38)$$

Ця формула правильна для фігури будь-якої форми. Якщо у двох взаємно перпендикулярних напрямках (уздовж осей координат) коефіцієнти

деформації неоднакові, наприклад, q_x = +1/200 і q_y = – 1/100, то можна визначити коефіцієнт деформації q = 1/2 (+ 1/200 – 1/100) = –1/400, який можна використовувати, застосовуючи формулу (2.38).

Приклад.

$$P = 52{,}15 \text{ га}; \; q = -1/400;$$

$$P_0 = 52{,}15 - 2\,(52/400) = 51{,}89 \text{ га}.$$

При використанні формули (2.37) середній коефіцієнт деформації можна приймати, якщо q_x та q_y різняться між собою не більше 20%, інакше коефіцієнт деформації визначають у напрямку, паралельному лінії, в яку треба ввести поправку.

?

Завдання для самостійної роботи

1. Що розуміють під детальністю карт і планів?
2. Назвіть основні види знімання поверхні при землеустрої.
3. Використання планів стереотопографічного знімання поверхні землі.
4. Яка формула визначає похибку положення точки на плані?
5. Що розуміється під графічною точністю, за якою формулою її визначають?
6. Особливості похибок при різних способах копіювання планів і карт.
7. Вкажіть формулу визначення похибки положення контурної точки на копії плану (карті).
8. Основні особливості визначення точності зображення рельєфу на плані (карті).
9. Вкажіть основні формули визначення точності зображення відстаней на плані.
10. Особливості визначення точності напрямків, зображених на карті.
11. Особливості спотворення ліній на плані у проекції Гауса.
12. Особливості визначення точності перевищень, позначок та нахилів залежно від положення горизонталей на плані (карті).
13. Порядок визначення деформації паперу при роботі з планами та картами.

Навчальний тест

1. Що розуміють під повнотою планів (карт)?

1) ступінь насиченості плану об'єктами місцевості, зображення яких на плані необхідне і при цьому масштабі і висоті перерізу рельєфу можливе;

2) значення знаменника числового масштабу, при якому можна з достатньою точністю розпізнати об'єкти місцевості;

3) ступінь насичення плану об'єктами місцевості;

4) ступінь старіння карти та насиченість плану об'єктами місцевості.

2. Похибка положення точки визначають за формулою:

1) $m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2}$;

2) $m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$;

3) $m_{t'} = \sqrt{m_t^2 + n \times 0{,}08^2}$;

4) $m_k^2 = (0{,}1 \times h_c)^2 + (0{,}0008 \times M{*}i)^2 + 0{,}015^2 \times l$.

3. Похибка визначення положення контурних точок, нанесених за полярним способом (визначення напрямку і визначення відстані за допомогою далекоміра) при теодолітному зніманні у масштабі 1:10 000 становить, м:

1) 2,0;
2) 1,0;
3) 1,5;
4) 0,5.

4. При мензульному зніманні у масштабі 1:10 000 наближена величина похибки положення точки геометричної мережі залежно від похибок орієнтування планшета, прокреслювання напрямків, м:

1) 1,5;
2) 3,0;
3) 2,0;
4) 1,0.

5. Для одержання похибки положення контурних точок на плані використовують формулу:

1) $m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2}$;

2) $m_{t'} = \sqrt{m_t^2 + n \times 0{,}08^2}$;

3) $m_k^2 = (0{,}1 \times h_c)^2 + (0{,}0008 \times M^* i)^2 + 0{,}015^2 \times l$;

4) $m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$.

6. Похибку положення контурної точки на копії плану визначають за формулою:

1) $m_{t'} = \sqrt{m_t^2 + n \times 0{,}08^2}$;

2) $m_t = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}$;

3) $m_t = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + ... + m_n^2}$;

4) $m_k^2 = (0{,}1 \times h_c)^2 + (0{,}0008 \times M \times i)^2 + 0{,}015^2 \times l$.

7. Відстані між точками вимірюють за формулою:

1) $s^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$;

2) $m_{s0} = \sqrt{m_t^2 + m_\Gamma^2}$;

3) $m'_{\alpha} = \frac{m_t}{s} 3438'$;

4) $S_1^2 = \frac{P}{K}$.

8. Похибка визначення напрямку за планом за допомогою транспортира з урахуванням точності плану знаходять за формулою:

1) $m_{\alpha_0} = \sqrt{m'^2_{\alpha} + m^2_{\alpha_T}}$;

2) $S_1^2 = \frac{P}{K}$;

3) $m_{s0} = \sqrt{m_t^2 + m_T^2}$;

4) $m_P = m_t \sqrt{P} \sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$.

9. Залежність між площею контуру і координатами його поворотних точок визначаються за формулою:

1) $2P = \sum_{i=1}^{n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$;

2) $m_{P_{\text{га}}} = m_{t_{\text{см}}} \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{га}}}$;

3) $m_{P_{\text{га}}} = m_{t_{\text{см}}} \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{га}}} \frac{4\sqrt{0{,}5n-1}}{n} \frac{K+1}{2\sqrt{K}}$;

4) $S^2 m^2_s = (x_2 - x_1)^2 m^2_{x1} + (x_2 - x_1)^2 m^2_{x2} + (y_2 - y_1)^2 m^2_{y1} + (y_2 - y_1)^2 m^2_{y2.}$

10. Відомо, що лінія, виміряна на місцевості, при перенесенні (редукуванні) її на площину проекції Гауса повинна бути збільшена на величину:

1) $s_T = s + \frac{1}{2} s (\frac{y}{R})^2$;

2) $S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$;

3) $S^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2$;

4) $\frac{1}{2} (\frac{y}{R})^2$.

Ключ до навчального тесту:
1–1; 2–2; 3–2; 4–3; 5–1; 6–1; 7–1; 8–1; 9–1; 10–1.

Розділ 3

ОНОВЛЕННЯ (КОРИГУВАННЯ) ПЛАНІВ І КАРТ

3.1. Старіння планів (карт) і періоди їх оновлення

Плани і карти відображають ситуацію на місцевості, яка склалася на час виконання знімальних робіт, тому з часом вони старіють і тим значніше це старіння, чим більше часу минає з моменту знімання.

Старіння планів і карт обумовлено наступними причинами:

– безперервною зміною вигляду земної поверхні, що залежить більшою мірою від діяльності людини, ніж від природних явищ;

– підвищенням вимог до їхньої точності, детальності, повноти, змісту та оформлення у зв'язку з науково-технічним прогресом.

У результаті здійснення господарських заходів на території сільськогосподарського підприємства можуть відбуватися зміни:

а) у розмірах і конфігурації землекористувань та контурів угідь, пов'язаних із трансформацією, вилученням і відведенням земель;

б) в якісному стані угідь у зв'язку з проведенням меліоративних, агротехнічних та інших заходів;

в) у складі категорій земель і категорій землекористувачів;

г) у розмірах території внаслідок зміни адміністративних меж.

Швидке старіння планів і карт, які використовують при проведенні землеустрою та земельного кадастру, викликає необхідність систематичного оновлення їх, оскільки вони не відображають у необхідній мірі стан сільськогосподарських угідь навіть через рік після знімання. Ця обставина потребує визначення числових показників старіння сільськогосподарських планів і карт, щоб встановлювати терміни їхнього оновлення чи коригування.

Під оновленням розуміють складання нових планів на основі нових знімання із використанням існуючих планів та їхнього геодезичного обґрунтування. Оновлення планів через певні періоди розробляє ДП «Український інститут сільськогосподарських аерофотогеодезичних вишукувань.

Проте швидке старіння планів і карт змушує органи землеустрою впровадити заходи щодо підтримки останніх на сучасному рівні через короткіші терміни – від одного до п'яти років, щоб систематично надавати достовірну інформацію про використання землі при веденні земельного

кадастру. Крім того, здійснення заходів щодо підтримки планів і карт на сучасному рівні передує складанню проектів міжгосподарського та територіального землеустрою, коли після знімання минуло 3–5 років, і дострокове відновлення плану технічно недоцільне й економічно не вигідне.

Ступінь старіння сільськогосподарських планів і карт необхідно визначати, головним чином із погляду вартості виконання робіт з коригування та оновлення карт, при цьому вартість коригування залежатиме від:

– ступеня старіння плану (карти);

– способу коригування – наземним способом чи за допомогою аерофотознімання;

– виду плану, який коригують, складеного способом наземного знімання або аерофотознімання (штрихового плану чи фотоплану);

– категорії складності місцевості, яку знімають.

Вартість коригування встановлюють переважно за обсягами польових робіт, але вона завжди вища при наземному способі, ніж при використанні аерознімків. Обсяг польових робіт у свою чергу визначається довжиною контурів, які знімають, довжиною знімальних ходів, які прокладають з метою знімання змін, що відбулися. Тому основним показником старіння планів (карт) є зіставлення сум довжин знімальних контурів і нанесених на план l та суми довжин усіх контурів на момент знімання L:

$$\lambda\% = \frac{l}{L}100\,. \tag{3.1}$$

Крім обчислення вартості робіт з коригування плану цей показник найоб'єктивніше й однозначно відображає фактичний обсяг виконаної роботи. Однак він нерідко потребує проведення картометричної роботи. Тому для визначення обсягу робіт з коригування використовують інший показник, який є відношенням площі контурів p, що змінилися, до площі всіх контурів P, зображених на плані, який дає можливість перевести його в показник λ:

$$\lambda\% = 100\sqrt{\frac{p}{P}}\,. \tag{3.2}$$

Наведена залежність між показниками старіння дає змогу використовувати їх у різних випадках за наявності інформації про зміну контурів і площ сільськогосподарських угідь, представленої в графічному або статистичному вигляді.

Із кожним роком приріст відсотка старіння поступово зменшується і до моменту оновлення планів, тобто до 8–15 років, становлять 30–80%.

Визначити ступінь старіння карти та плану, коли на них показані межі нових контурів за матеріалами нового знімання або за результатами рекогносцирування, можна використовувати формули й методику, розроблену доцентом Ю.К. Неумивакіним, теоретичною основою якої є математичний

апарат теорії інформації. За цією методикою обчислюють показник кількості інформації про карту (план) R_{T0} у момент часу T_0 за формулою:

$$R_{T0} = M_{T0} K_{T0} \text{ дв. од.},$$

де M_{m0} – кількість контурів і предметів місцевості, відображених на певній площі; K_{m0} – число, що характеризує кількість інформації, яка припадає на один контур, при цьому:

$$K_{T0} = \left[log_2 \left(\sqrt{Q_{T0}}\, ln\, Q_{T0} \right) - 3{,}9 \right] \text{ дв. од. (при Q} \geq 50);$$

тут число Q_{To}, визначене за формулою:

$$Q_{T_0} = \frac{P_{max, T_0}}{P_{min, T_0}};$$

де $P_{max, T0}$ і $P_{min, T0}$ – відповідно площі найбільшого і найменшого контурів, відображених на карті масштабними умовними знаками в момент часу T_0.

Нехай на момент часу T на місцевості відбулися зміни, які нанесені на план. Тоді новий показник кількості інформації про карту (план) становитиме:

$$R_T = M_T K_T \text{ дв. од.};$$

$$M_m = p + r,$$

де M_m – кількість контурів, утворених межею старих і нових контурів, плюс кількість нових і ліквідованих об'єктів місцевості, відображених за масштабними умовними знаками.

Ступінь старіння карти (плану) у відсотках обчислюють за формулою:

$$\gamma = \frac{R_T - R_{T_0}}{R_{T_0}} 100\% = \frac{\Delta R}{R_{T_0}} 100\% \qquad (3.3)$$

Існують й інші способи визначення показника старіння карти (плану). Показники старіння планів (карт), обчислені за формулами (3.1) і (3.2), а також вартість робіт з коригування та оновлення планів дали змогу встановити, що якщо плани оновлюватимуть новим зніманням тільки наземними способами, то коригування необхідно проводити при змінах у ситуації до 50% для I і II категорій складності й до 40% для III.

Якщо ж плани оновлюватимуть способом аерофотознімання з використанням матеріалів прив'язки аерознімків минулих років, то коригування доцільне для планів місцевості I категорії складності при зміні ситуації до 30%, II – до 20 і III категорії – до 10%.

3.2. Плани (карти) землеволодінь та землекористувань, що підлягають коригуванню. Точність і способи коригування

Найзручніше коригувати штрихові плани, виготовлені на прозорих пластичних матеріалах. Плани, складені на такій основі, практично не деформуються, з них швидко й просто видаляється все непотрібне, застаріле, легко наносяться нові контури та об'єкти за результатами знімання. Зі складеного на пластику плану простими засобами виготовляють копії, необхідні для польової роботи з коригування або для збереження ситуації на момент знімання. Так само просто виготовляють копії з відкоригованого плану. Тому при замовленні на виконання знімальних робіт поряд з основною продукцією у вигляді фотопланів чи штрихових планів на твердій основі слід передбачати копії штрихових планів на пластику, які при використання планів повинні відігравати чергової карти.

При відсутності планів на пластику коригують фотокопії (репродукції) з накреслених фотопланів або інші планово-картографічні матеріали, виготовлені на жорсткій основі:

– штрихові плани;

– плани наземного знімання чи їхні копії;

– топографічні плани державного і тематичного знімання.

У деяких випадках для коригування використовують проектні плани раніше проведеного територіального землеустрою.

Якщо район робіт покритий новими аерофотозніманнями, то при коригуванні використовують аерознімки з контактними відбитками або збільшені знімки. При цьому якщо відношення знаменників масштабів аерофотознімання і плану, який коригують понад 2, то при коригуванні використовують аерознімки, збільшені (приблизно) до масштабу плану.

При коригуванні використовують наявні фотокопії з накреслених фотопланів і аерознімків минулих років для використання незмінених (твердих) контурних точок місцевості як опори при польовому коригуванні, якщо на території, що підлягає коригуванню, відсутні закріплені пункти геодезичної опори необхідної густоти.

Крім того, при коригуванні використовують:

а) викопіювання меж землекористування з плану державного акта на постійне користування землею чи з проектного плану землекористування;

б) викопіювання на ділянки земель суміжного користування;

в) виписки з державної книги реєстрації землекористувань, довідки про суміжні землекористування, довідки про ширину доріг;

г) схеми розташування наявної геодезичної мережі;

ґ) виписки геодезичних даних по межах землекористування та пунктів геодезичних мереж і опорних точок;

д) виписки із журналів та каталогів ходів опису місцезнаходження геодезичних пунктів, закладених центрів і зовнішніх знаків.

При виконанні робіт з коригування ставиться завдання – вибрати такі способи, які практично забезпечували б збереження точності відкоригованих планів. Коригуванням неможливо виправити план низької якості, але невдало вибраний спосіб коригування може призвести до неприпустимої втрати його точності.

Практично плани вважаються рівноточними, якщо показники їхньої точності різняться між собою не більше як на 10%, тобто якщо точність коригування плану, має похибку положення контурної точки 0,4 мм на плані і в результаті коригування похибка положення точок контурів виявилася 0,44 мм на плані, то відкоригований план вважається рівноточним плану, який коригують, або вважається, що точність відкоригованого плану має десятивідсотковий «критерій нікчемності» щодо точності коригованого плану. Це означає, що якщо точність коригованого плану характеризується похибкою положення точки на плані m_t, то відкоригований план може мати похибку положення точки 1,1 m_t. Тому, щоб забезпечити десятивідсотковий «критерій нікчемності», похибки вимірювань при коригуванні можуть становити величину $m_{вим}$, при цьому має задовольнятися умова:

$$(1{,}1m_t)^2 = m_t^2 + m_{вим}^2. \qquad (3.4)$$

З цього рівняння випливає, що:

$$M_{вим} = 0{,}46\, m_t, \qquad (3.5),$$

тобто похибки вимірювань при коригуванні не повинні перевищувати ≈ 0,5 величини похибки, якою характеризується точність коригованого плану.

Точність коригування значною мірою залежить від точності геодезичного обґрунтування знімання, виконуваного при коригуванні. Геодезичним обґрунтуванням (опорою) знімання можуть бути:

1) пункти геодезичних мереж (тріангуляції, полігонометрії) та поворотні точки меж землекористувань (межові знаки), що мають обчислені значення координат;

2) тверді контурні точки, тобто точки, які добре збереглися на місцевості й чітко виражені на коригованому плані. Такими точками можуть бути перетини доріг, канав, якщо ці перетини проходять під кутами не менше 40° і не більше 140°, кути орних угідь та окремих будівель, огорож, колодязі, постійні предмети місцевості тощо, а також точки, одержані промірами вздовж прямолінійного контуру. Для точнішого розпізнавання контурних точок на місцевості й плані, а також для уточнення їхнього положення на плані використовують аерознімки.

Найпростішими і з повним збереженням точності відкоригованого плану коригування здійснюють, якщо знімання спирається на пункти наявної геодезичної мережі достатньої густоти (при масштабі 1:10 000 не більше 3–4 км між пунктами). Тому наявність пунктів геодезичної мережі та забезпечення їхнього збереження на території землекористувань сільськогосподарських підприємств

– одна з умов ефективного періодичного оновлення планів і карт та проведення заходів (коригувань) для підтримки їх на сучасному рівні. У такому разі зміни знімають способом теодолітного знімання зі знімальних ходів, які прокладають між пунктами геодезичної мережі або способом мензульного знімання з точок побудованої геометричної мережі, перехідних точок і мензульних ходів.

Теодолітне знімання (прокладання ходів, побудова засічок, полярний спосіб) застосовують на закритій місцевості чи при великій розкиданості ділянок знімання і за несприятливих для польових робіт кліматичних умов, а також на відкритій місцевості при невеликих змінах у ситуації.

Мензульне знімання проводять у сприятливу погоду на відкритій місцевості на великих масивах при складній контурності ситуації й при значних її змінах. Цей спосіб має перевагу над іншими, оскільки всі зміни, що відбулися в ситуації, наносять на план безпосередньо в полі з детальністю, і дає змогу в процесі польової роботи помічати зміни, які сталися у ситуації, а якщо таких не спостерігається, зупинити знімання в даному місці. Крім того, при коригуванні мензулою до складу бригади входить менше працівників, виконавець звільняється від значної кількості польових записів (ведення абрису), що значно скорочує обсяг камеральних робіт.

Коригування за допомогою тільки мірного приладу та екера здійснюють, коли на місцевості відбулися невеликі зміни окремих контурів угідь, розкиданих на території землекористування, коли змінені контури можна зняти способом перпендикулярів відносної лінії, які спираються на пункти геодезичної опори або на тверді контурні точки.

Пункти геодезичної мережі використовують і для прив’язки аерознімків нового аерофотознімання, де відобразилися зміни ситуації. Ці аерознімки трансформують фотомеханічним чи графічним способом та монтують в існуючий фотоплан або з трансформованих аерознімків викреслюють ситуацію на штриховий план.

Тверді контурні точки використовують за опору при коригуванні як вимушений захід, коли пункти геодезичної мережі на території знімання відсутні чи наявна геодезична мережа настільки рідкісна, що знімальні ходи, прокладені між пунктами цієї мережі, значною мірою не використовують при зніманні і вартість коригування стає невиправдано високою.

Тверді контурні точки використовують як орієнтувальні для трансформації аерознімків нового аерофотознімання при коригуванні, а також при оновленні планів. Їх доводиться використовувати також за наявності аерознімків нового аерофотознімання для наземної зйомки контурів ситуації та меж землекористувань, які не відобразилися, причому за даними дослідженням Н.В. Сухотька таких контурів може бути до 5% загальної кількості контурів на аерознімках.

Використання твердих контурних точок для опори при зніманні потребує значної уваги й досвіду. Визначення координат точок знімальних ходів у такому разі не є необхідним, і здебільшого стає недоцільним. Усі вимірювання

на місцевості виконують із розрахунку на графічні побудови на плані, який коригують не тільки знятої ситуації, але й знімальних ходів. При цьому керуються принципом і сформульованими умовами у формулах (3.4) та (3.5).

3.3. Організація і зміст роботи з коригування планів (карт)

Коригування планів (карт) – самостійний вид геодезичних робіт, виконуваних для внесення на план змін у ситуації, що відбулися після знімання (дешифрування), зі збереженням точності, якою характеризується коригований план.

Роботи з коригування виконують у такому порядку:

1) підготовчі камеральні роботи;

2) польове дешифрування контурів, що з'явилися на нових аерознімках, або зіставлення відкоригованого плану з місцевістю (огляд, рекогносцирування місцевості);

3) видалення з плану зниклих контурів;

4) побудова знімальної основи, якщо в цьому є необхідність, для знімання нових контурів;

5) знімання нових контурів;

6) нанесення результатів знімання (дешифрування) на план і складання кальок роботи (роблять це систематично у міру виконання польових робіт);

7) контроль та оформлення результатів коригування (відокремлення плану і кальок, складання пояснювальної записки або технічного звіту, підшивання і брошурування документів – схем, довідок, польових журналів, абрисів, відомостей обчислень, таблиць та ін.)

Підготовчі роботи полягають у підборі й підготовці планів (карт), що потребують коригування, та інших документів і матеріалів, які використовують при коригуванні.

Якщо на територію, де проводитимуть коригування, є аерознімки нового аерофотознімання, то в порядку підготовчої роботи план, який коригують, звіряють з аерознімками для виявлення змін у ситуації. Попередньо (олівцем) наносять на план нові контури і закреслюють зниклі. Остаточні зміни у план вносять після польового дешифрування.

З огляду (рекогносцирування) місцевості починається польова робота з коригування плану. Вона полягає в уважному звірянні плану (або копії з нього) із місцевістю за заздалегідь наміченими маршрутами з таким розрахунком, щоб усі контури були перевірені як за формою, так і за змістом (найменуванням угідь).

При наявності аерознімків нового аерофотознімання під час огляду місцевості дешифрують нові контури, виявлені при камеральному звірянні аерознімків з планом, який коригують.

У процесі огляду місцевості (якщо відсутні аерознімки нового аерофотознімання) виконують такі роботи:

– виправляються на плані нові найменування угідь без проведення будь-яких вимірювань, при цьому олівцем закреслюють хрестиком колишній умовний знак і ставлять новий. План без будь-яких вимірів виправляють і у разі, якщо контур ліквідований (проведені оранка, розкорчовування) або якщо нові прямолінійні контури спираються на тверді контурні точки ситуації. В такому разі на плані по лінійці проводять пряму лінію нового контуру й ставлять відповідні умовні знаки;

– виявляють контури та масиви, що підлягають зніманні. Абриси (контури) ситуації, які змінилися, на плані закреслюють олівцем і на око проводять нові контури, положення уточнюватимуть подальшими вимірами. При цьому контур вважається зміненим, якщо нове його положення відходить від колишнього більш як на 1 мм на плані. Якщо такі зміни візуально встановити важко, то біля контуру на плані проводять лінію, положення якої уточнюватимуть наступними вимірами;

– намічають схеми побудови знімальної основи, тобто на плані роблять позначку про приблизний її вигляд (положення знімального ходу, ланцюги трикутників, побудова геометричної мережі або прокладання мензульних ходів, визначення положення точок засічками, використання як опори твердих точок, незмінних ситуацій) залежно від характеру місцевості й ступеня змін, що відбулися у ситуації, їхньої розкиданості по землекористуванню, наявності пунктів геодезичних мереж і метеорологічних умов;

– визначаються способи знімання нових контурів та масивів (тахеометром, теодолітом, мензулою, іншим мірним приладом).

Огляд місцевості – один з відповідальних етапів роботи при коригуванні і потребує значного досвіду і тренування звірення зображень на плані з місцевістю, чого досягають самостійним виконанням знімальних робіт. Тому його доручають кваліфікованому виконавцю або відбувається під його безпосереднім наглядом і керівництвом. Після порівняння місцевості з планом, який коригують видаляють або закреслюють червоними хрестиками зниклі контури і вносять у нього інші зміни, зафіксовані при огляді місцевості.

Побудова знімального обґрунтування і знімання з використанням контурних точок як опори, нанесення результатів вимірювань на місцевості, контроль та оформлення результатів коригування описані в наступних розділах.

На початку цього розділу зазначалося, що коригування планів є самостійним видом геодезичних робіт. Проте його можна виконувати і з проведенням землевпорядних і меліоративних заходів на території землекористування, коли всі зміни в ситуації, що відбуваються у результаті здійснення цих заходів, систематично фіксують на плані за даними вимірювань (знімання) на місцевості. Така організація роботи з коригування найефективніша в районах, де аерофотознімання не проводять.

При невеликих змінах у ситуації коригування можна розробляти і в різні стадії виконання територіального землеустрою. Так, до складання проекту землеустрою здійснюють лише окомірно (візуально) коригування

при рекогносцирувальному обстеженні (огляді місцевості), а інструментально – після складання і обговорення ескізного проекту. При цьому поряд зі зніманням нових контурів знімають межі трансформованих і поліпшених ділянок згідно з проектом.

У процесі побудови знімального обґрунтування враховують можливість його використання при складанні технічного проекту й перенесенні його в натуру.

Нарешті, якщо невеликих зміни у ситуації незначні, нові контури можна знімати при перенесенні проекту в натуру. За результатами знімання уточнюють технічний проект і документацію до нього. У такому разі доцільно в натуру переносити тільки межі проектованих ділянок із дотриманням основних умов паралельності й перпендикулярності сторін, а остаточно площі визначають після перенесення проекту в натуру і нанесення на план змін, що відбулися у ситуації.

Можливі й інші способи поєднання коригування планів зі складанням проекту та перенесенням його в натуру. Наприклад, перед розробкою проекту знімають і наносять на план нові контури з великими площами (переведення у ріллю значних площ пасовищ, сіножатей, садіння саду та ін), а дрібні контури, які не можуть вплинути на проектні рішення, наносять на план на око, а знімають при перенесенні проекту в натуру.

Таке поєднання коригування планів зі стадіями складання проекту і перенесенням його у натуру дає змогу скоротити час на здійснення коригування й перенести значну частину його камеральних робіт на зимовий період.

3.4. Коригування планів із використанням твердих контурних точок як опори

У підрозділі 3.2 зазначалося, що знімання нових контурів із використанням твердих контурних точок як опори потребує значної уваги і навичок, що всі вимірювання на місцевості виконують із розрахунку графічних побудов на плані, який коригують, але за умови збереження його точності. При виборі твердих контурних точок на місцевості й на плані необхідна впевненість у розпізнанні цих точок і точності їхнього положення. З цією метою уточнюють положення контурних точок за допомогою аерознімків шляхом визначення інших контурних точок на плані й на аерознімку чи порівнюють відстані між цими точками на місцевості та на плані. Якщо результати вимірювань відрізняються більш як на 1 мм на плані (1 мм приймають як граничну похибку положення контурної точки на плані), то точки не можуть бути використані як опорні при коригуванні.

Із великої кількості випадків, які трапляються в практиці коригування планів, переважно масштабів 1:10 000 і 1:25 000, розглянемо найтиповіші випадки знімання:

– полярним способом із твердої контурної точки за допомогою теодоліта або мензули;

– способом перпендикулярів щодо лінії, яка спирається на тверді контурні точки;

– способом перпендикулярів і полярним способом відносно ліній знімальних ходів, що спираються на тверді контурні точки:

а) теодолітного ходу без допоміжних кутів;

б) мензульного ходу;

в) хордокутомірного ходу;

г) створного ходу.

Усі ці випадки бувають у практиці коригування планів також тоді, коли як опорні використовують і пункти геодезичної мережі, нанесені на план, тільки результати знімання будуть точнішими, ніж при використанні контурних точок.

Знімання полярним способом за допомогою теодоліта і мензули. Випадок знімання контуру полярним способом із твердою контурною точкою *A* показано на рисунку 3.1. У точці *A* – станція теодоліта або мензули, з якої знімають новий контур в точках 1, 2, 3 . . . вимірюванням кутів β із вершиною в точці *A* і полярних відстаней *A*-1, *A*-2, . . .

При зніманні особливу увагу звертають на орієнтування лімба теодоліта або мензульного планшета по лінії *AB*, у який *B* є теж твердою контурною точкою, оскільки велика похибка орієнтування, що визначається формулою (2.17), викличе неприпустимий поворот усього контуру, що знімають.

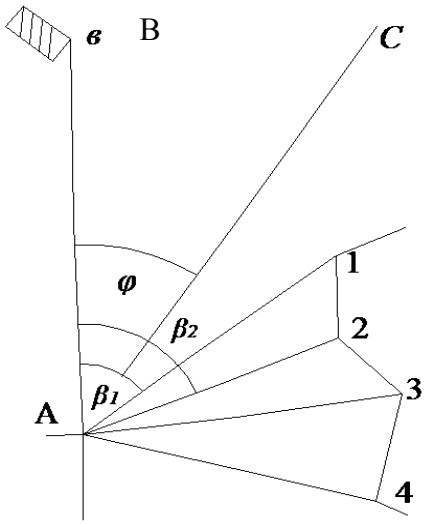


Рис. 3.1. Знімання полярним способом із контурної точки A

Похибку визначення положення точки 1, яку знімають одержимо, виходячи з аналізу відомих співвідношень:

$$x_1=x_A+\Delta x_{A1}=x_A+s_{A1}\cos\alpha_{A1}\,,$$

$$y_1=y_A+\Delta y_{A1}=y_A+s_{A1}\sin\alpha_{A1}\,.$$

Продиференціюємо ці вирази:

$$dx_1 = dx_A + \cos\alpha_{A1} ds_{A1} - s_{A1}\sin\alpha_{A1} d\alpha_{A1},$$

$$dy_1 = dy_A + \sin\alpha_{A1} ds_{A1} + s_{A1}\cos\alpha_{A1} d\alpha_{A1}.$$

і перейдемо до середньоквадратичних похибок:

$$m_{x1}^2 = m_{xA}^2 + \cos^2\alpha_{A1} m_{SA1}^2 + s_{A1}^2 \sin^2\alpha_{A1} m_{\alpha A1}^2,$$

$$m_{y1}^2 = m_{yA}^2 + \sin^2\alpha_{A1} m_{SA1}^2 + s_{A1}^2 \cos^2\alpha_{A1} m_{\alpha A1}^2.$$

Склавши ці рівняння і врахувавши (2.1), матимемо:

$$m_{t1}^2 = m_{tA}^2 + m_{SA1}^2 + s_{A1}^2 m_{\alpha A1}^2. \qquad (3.6.)$$

У цій формулі m_{tA} – похибка положення твердої контурної точки (0,4 мм на плані), й щоб зберегти точність плану, який коригують, потрібно, щоб величина $\sqrt{m_{sA1}^2 + s_{A1}^2 m_{\alpha A1}^2}$ згідно з (3.5) не перевищувала 0,46 від $m_{tA,}$ тобто 0,18 мм на плані.

Величина m_{sA1} – середньоквадратична похибка вимірювання відстані A_1 складається з двох похибок:

1) вимірювання відстаней за нитяним віддалеміром при зніманні, що дорівнює 1/300 довжини A_1, яка для допустимої відстані від інструмента до рейки 250 м при масштабі 1:10 000 буде $^{250}/_{300}$ м $\times 10^{-4} \approx 0{,}08$ мм на плані;

2) відкладення цієї відстані при побудові плану ≈ 0,08 мм, тому:

$$m_{sA1} = \sqrt{0{,}08^2 + 0{,}08^2} = 0{,}11 \text{ мм}.$$

Тепер на частку похибки s_{A1} $m_{\alpha A1}$ у формулі (3.6) залишається:

$$\sqrt{0{,}18^2 - 0{,}11^2} = 0{,}14 \text{ мм}.$$

Оскільки

$$\alpha_{A1} = \alpha_{AB} + \beta_1,$$

то

$$m_{\alpha A1}^2 = m_{\alpha AB}^2 + m_{\beta 1}^2$$

Тут, $m_{\beta 1}$ включає:

1) похибку вимірювання кута β_1 теодолітом, яка при округленні відліку за лімбом до 5' дорівнюватиме 3',

2) похибку побудови кута транспортиром при складані плану 7', тому:

$$m\beta_1 = \sqrt{3^2 + 7^2} \approx 8.$$

Отже на частку похибки $m_{\alpha AB}$ залишається:

$$m^m{}_{\alpha AB} = m^2{}_{\alpha A1} - m^2{}_{\beta 1}.$$

Але оскільки має бути:

$$S_{A1} m_{\alpha A1} \le 0{,}14 \text{ мм},$$

то враховуючи, що S_{A1} на плані масштабу 1:10 000 буде 25 мм, одержимо:

$$m'_{\alpha A1} = \frac{0.14 \times 3438'}{25} = 19',$$

тоді:

$$m_{\alpha AB} = \sqrt{19^2 - 8^2} = 17'.$$

Щоб забезпечити таку точність орієнтування лімба або мензульного планшета при $m_{tA} = m_{tB} = m_t = 0{,}4$ мм, згідно з (2.17) матимемо:

$$S_{AB} = \frac{m_{t\partial}}{m'_{\alpha}} = \frac{0.4 \times 3438}{17} = 81 \text{ мм},$$

тобто більше як у три рази порівняно з S_{A1}.

Аналогічні результати розрахунків точності можна одержимо при зніманні мензулою.

Таким чином, при зніманні полярним способом зі станції теодоліта або мензули на твердій контурній точці орієнтування лімба теодоліта чи мензульного планшета має здійснюватися за відстанню між контурними точками, не менш як у три рази більшою, ніж допустима відстань від інструмента до рейки.

Для контролю при зніманні теодолітом вимірюють кут φ між напрямками *AB* і *AC*, а при зніманні мензулою у напрямку *AC* перевіряють орієнтування планшета.

Розбіжність значення кута φ, виміряного на місцевості й на плані, на підставі (2.21) не повинна виходити за межі:

$$\Delta\varphi' = \frac{\Delta t 3438'}{s}\sqrt{2},$$

де Δt – гранична похибка положення твердої контурної точки (1 мм на плані); s – найбільша сторона кута, мм, на плані.

При контролі орієнтування планшета прокреслений напрямок на контрольну точку С не має відходити від її положення більш як на 1,5 мм.

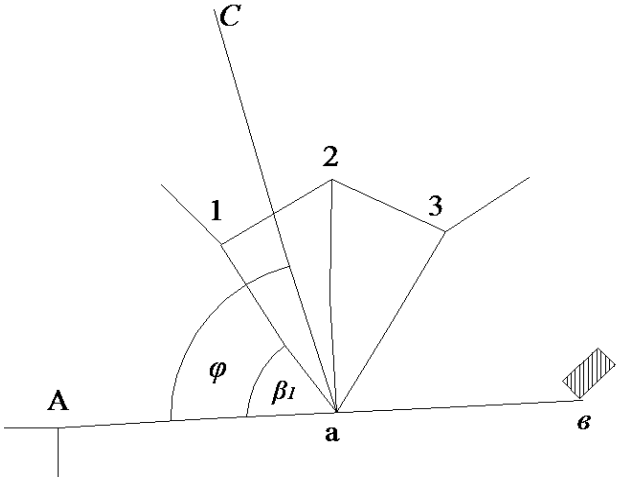


Рис. 3.2. Знімання полярним способом

Положення станції *а* (рис. 3.2) теодоліта або мензули для знімання полярним способом можна одержати в створі твердих контурних точок *А* і *В*, вимірявши на місцевості відстань A_a й відклавши її на плані.

У такому разі середньоквадратичну похибку положення станції (точки *а*) розраховують аналізуючи вирази:

$$X_a = X_A + S_{A\,a}\cos\alpha_{AB} = X_A + X_{Aa}\frac{X_B - X_A}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}};$$

$$Ya = Y_A + S_{Aa}\sin\alpha_{AB} = Y_A + s_{Aa}\frac{Y_B - Y_A}{\sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}}.$$

У праву частину наведених виразів входять незалежні величини. Диференціюючи ці вирази за всіма змінними (x_A, y_A, $x_в$, $y_в$, s_{Aa}), після перетворення одержимо:

$$dXa = (1 - \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin^2\alpha_{AB})dX_A + \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin\alpha_{AB}\cos\alpha_{AB}dY_A + \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin^2\alpha_{AB}dX_B -$$

$$-\frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin\alpha_{AB}\cos\alpha_{AB}dY_B + \cos\alpha_{AB}dS_{Aa};$$

$$dYa = \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin\alpha_{AB}\cos\alpha_{AB}dX_A + \left(1 - \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\cos^2\alpha_{AB}\right)dY_A - \frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\sin\alpha_{AB}\cos\alpha_{AB}dX_B +$$

$$+\frac{S_{Aa}}{S_{AB}}\cos^2\alpha_{AB}dY_B + \sin a_{AB}dS_{Aa}.$$

Перейдемо до середньоквадратичних похибок, позначимо:

$$\frac{S_{Aa}}{S_{AB}} = K;$$

$$m^2{}_{xa} = \left(1 - K\sin^2\alpha_{AB}\right)^2 m^2{}_{x_A} + K^2\sin^2\alpha_{AB}\cos^2\alpha_{AB}m^2{}_{yA} + K^2\sin^4\alpha_{AB}m^2{}_{x_B} +$$

$$+K^2\sin^2\alpha_{AB}\cos^2\alpha_{AB}m^2{}_{yB} + \cos^2\alpha_{AB}m^2{}_{SAa}$$

$$+K^2\sin^2\alpha_{AB}\cos^2\alpha_{AB}m^2{}_{x_B} + K^2\cos^4\alpha_{AB}m^2{}_{yB} + \sin^2\alpha_{AB}m^2{}_{SAa}$$

Складемо ці рівняння, приймемо $m_{xi} = m_{yi}$ і, включаючи (2.1), після перетворення матимемо:

$$m^2{}_{y_a} = K^2\sin^2\alpha_{AB}\cos^2\alpha_{AB}m^2{}_{xA} + \left(1 - K\cos^2\alpha_{AB}\right)^2 m^2{}_{yA} +$$

$$m^2{}_{ta} = \left(1 - K + \frac{1}{2}K^2\right)m^2{}_{tA} + \frac{1}{2}K^2m^2{}_{tB} + m^2{}_{SAa}. \qquad (3.7)$$

Якщо $m_{tA} = m_{tB} = m_t$, тоді:

$$m^2_{ta} = \left(1 - K + K^2\right) m^2_t + m^2_{sAa.} \qquad (3.8)$$

Природно, що при $K = 0$ та при $K = 1$ співмножник $(1 - K + K^2)$ у цій формулі дорівнює одиниці, а найменше його значення одержимо, якщо взяти похідну за К і прирівняти її до нуля:

$$\frac{\delta\left(1 - K + K^2\right)}{\delta K} = -1 + 2K = 0,$$

звідки:

$$K = \frac{1}{2},$$

тобто найменша похибка положення точки *a* (не враховуючи похибки m_{sAa}) буде у тому разі, якщо вона знаходитиметься посередині між точками *A* та *B*. Середнє значення співмножника $(1 - K + K^2)$, коли потрапляння точки *a* в будь-яку точку на лінії *AB* вірогідне, здійсниться інтегруванням:

$$K_{cp} = \int_0^1 \left(1 - K + K^2\right) dK = 0{,}83 .$$

Тому з формули (3.8) одержимо:

$$m^2_{ta} = 0{,}83 m^2_t + m_{sAa} \qquad (3.9)$$

Похибка m_{sAa} включає дві похибки:

1) вимірювання лінії на місцевості нитяним віддалеміром або мірним приладом і буде не більше 0,1 мм на плані,

2) відкладення лінії при нанесенні точки на план 0,08 мм. Тоді

$$m_{ta} = \sqrt{0{,}83 \times 0{,}4^2 + 0{,}1^2 + 0{,}08^2} = 0{,}39 \text{ мм},$$

тобто похибка положення створної точки *a* (див. рис. 3.1), одержана шляхом вимірювання лінії *Aa*, не перевищує похибки положення твердої контурної точки і її можна використовувати як станції теодоліта або мензули. Якщо, лінія *AB* менша від потроєної відстані від інструмента до рейки, то для орієнтування лімба теодоліта чи мензульного планшета використовують напрямок на віддалену точку *C*, а лінію *AB* використовують для контролю орієнтування.

Точність положення станції *a* значно підвищиться, якщо виміряти ще й відстань *Ba*, відкласти її на плані від точки *a* і з одержаних двох положень цієї точки на плані прийняти середнє.

Положення станції *а* (рис. 3.3) теодоліта або мензули для знімання ситуації полярним способом можна одержати в перехресті створів між твердими контурними точками *A*, *B* і *C*.

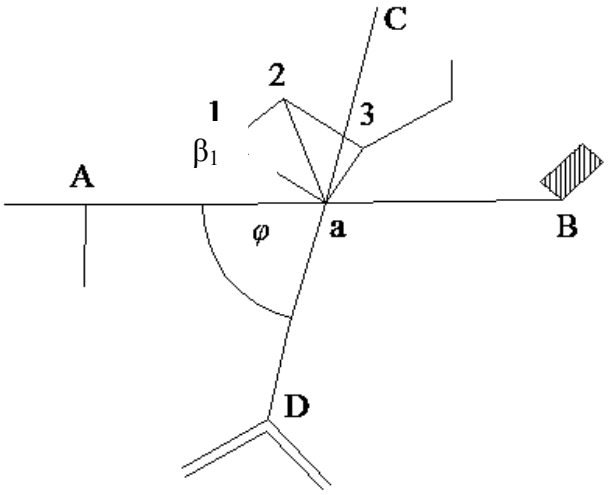


Рис. 3.3. Положення станції а теодоліта або мензули для знімання ситуації полярним способом

Для фігури *ACBD* квадратної або ромбічної форми похибка положення точки:

$$m_{ta} = 0{,}71 \times m_t , \qquad (3.10),$$

де $m_t = m_{tA} = m_{tв} = m_{tc} = m_{tD}$.

Якщо фігура *ACBD* має прямокутну форму з відношенням довгої сторони до короткої, яке дорівнює 2,4, тоді:

$$m_{ta} = m_t \qquad (3.11)$$

Контроль орієнтування лімба або мензульного планшета здійснюється, як і в попередніх випадках (за кутом φ та ін.)

Не рекомендується одержувати положення точки *а* кутовою або лінійною засічкою, оскільки у такому разі похибка положення цієї точки виявляється в 1,5–2 рази більше, ніж помилка положення контурної точки, з якої робиться засічка. Для досягнення точності, відповідної рівності (3.11), можна застосувати спосіб багаторазової засічки не менш як чотирьох напрямків. Проте він потребує великої кількості станцій чи вимірюваних ліній.

Положення станції *а* (рис. 3.4) теодоліта або мензули можна одержати оберненою засічкою не менш як із чотирьох напрямків. Для цього при зніманні теодолітом вимірюють кути φ1, φ2, φ3, φ4, φ5 а для нанесення точки *а* на план будують ці кути на восківці й накладають її на план так, щоб

напрямки, проведені на восківці, проходили через відповідні контурні точки на плані (спосіб Болотова), а далі положення точки *a* з восківки переклеюють на план. При мензульному зніманні напрямок на восківці одержують візуванням на тверді контурні точки.

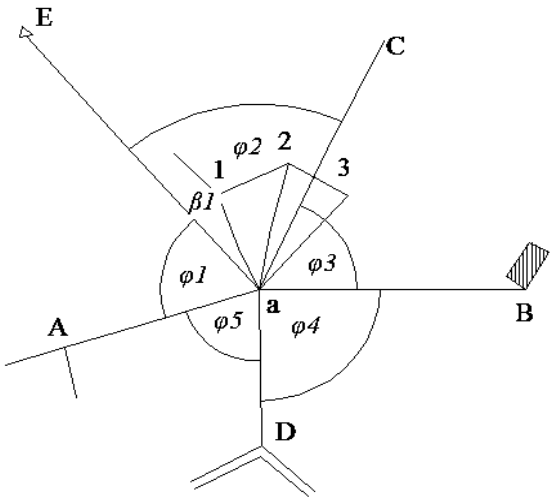


Рис. 3.4. Обернена базова засічка

При застосуванні вказаного способу необхідно прагнути до того, щоб шукана точка знаходилася всередині фігури, утвореної контурними точками, а кути між сусідніми напрямками були не меншими 40° і не більшими 140°. Орієнтування лімба теодоліта чи мензульного планшета для знімання виробляється за найдовшим напрямком.

При зніманні (коригуванні) на значній території на твердих контурних точках (за винятком постійних предметів місцевості) встановлюють віхи, які використовують для розв'язання задач із визначення положення станцій теодоліта або мензули у випадках, проілюстрованих на рисунках 3.1–3.4.

Знімання способом перпендикулярів відносно лінії, що спирається на тверді контурні точки (за допомогою мірного приладу та екера).

Знімання ситуації цим способом можна виконати щодо будь-якої з ліній між контурними точками *A*, *B*, *C*, *E*, показаними на рис. 3.1–3.4. Окремо такий випадок у вигляді абрису знімання показано на рисунку 3.5.

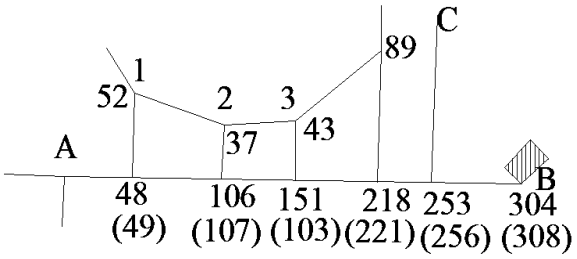


Рис. 3.5. Абрис знімання способом перпендикулярів

На рисунку кожна основа перпендикуляра після нанесення на план буде із середньоквадратичною похибкою, зумовленою формулою (3.9), а в числовому виразі – 0,39 мм (≈ 0,4 мм) на плані. Для визначення точності положення контурних точок 1, 2, 3, ..., які знімають щодо лінії *AB*, до цієї похибки треба додати похибку положення точки *m't*, яку знімають щодо основи перпендикуляра. На неї впливатимуть:

1) похибка побудови перпендикуляра:

$$m_1 = s\frac{\delta'}{3438'}\ , \qquad \text{(а)}$$

де *s* – довжина перпендикуляра; і δ – кутова похибка його побудови на місцевості, наприклад, за допомогою екера

$$\delta \approx 7';$$

2) похибка вимірювання довжини перпендикуляра (його слід вимірювати з похибкою, що не перевищує 0,1 мм на плані);

3) похибка побудови перпендикуляра на плані, яку визначають також за формулою (а), в якій δ – кутова похибка побудови перпендикуляра на плані;

4) похибка відкладення довжини перпендикуляра, що дорівнює 0,08 м на плані.

Якщо кожну з наведених похибок, керуючись принципом однакових впливів, прийняти рівною 0,1 мм на плані, то:

$$m_t' = 0{,}1\sqrt{4} = 0{,}2 \text{ мм},$$

тоді похибка положення контурної точки, яку знімають, становитиме:

$$m_t = \sqrt{0{,}39^2 + 0{,}2^2} = 0{,}44 \text{ мм},$$

що не виходить за межі 10% «критерію нікчемності» й, отже, точність результатів коригування буде відповідатиме точності плану, який коригують.

Зазначене дає підставу, наприклад, для плану масштабу 1:10 000, по-перше, округлювати значення результатів вимірів до 1 м (див. рис. 3.5) (у такому разі середньоквадратична похибка округлення буде 0,3 м); по-друге, перпендикуляри завдовжки до 20 м будувати на око, завдовжки до 50 м вимірювати вивіреним крокоміром, а до 200 м – дерев'яним циркулем.

При нанесенні на план результатів знімання, зафіксованих в абрисі, розбіжність між результатами вимірювань лінії *AB* на місцевості й на плані допускається не більше 1 мм на плані, інакше точки *A* і *B* не можна використовувати як опорні (для контролю правильності розпізнавання твердих контурних точок у знімання включають контрольні тверді контурні точки, наприклад на рисунку 3.5 точка *C*, яка після нанесення її на план за результатами

знімання не повинна відходити від свого положення на плані більш як 1 мм.) Якщо розбіжність допустима, то відліки основ перпендикулярів ув'язують пропорційно до їхніх величин. На рисунку 3.5 у дужках показані результати вимірювання лінії *AB* на плані (308 м) і виправлені (ув'язані) значення відліків.

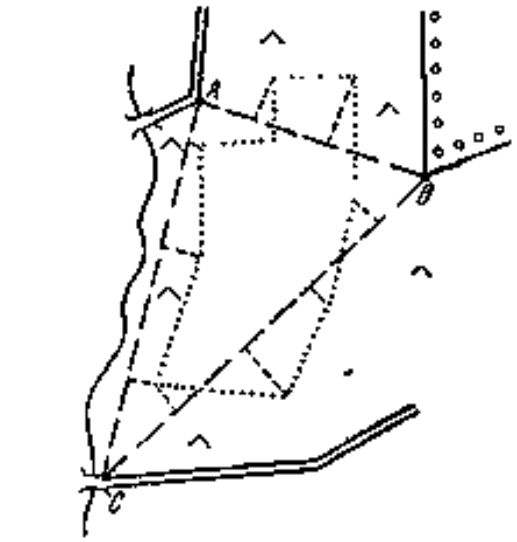


Рис. 3.6. Спосіб перпендикулярів

На рисунку 3.6 показано один із випадків застосування способу перпендикулярів для знімання ситуації за допомогою мірного приладу та екера на основі твердих контурних точок *A, B, C*.

Знімання відносно ліній знімальних ходів, що спираються на тверді контурні точки. Внаслідок відсутності твердих контурних точок потрібної густоти нерідко виникає необхідність прокладати знімальні ходи, які спираються на ці точки. При цьому через низьку точність вихідних даних стає недоцільним обчислення обробки ходів (визначення координат) і всі вимірювання в ходах виконують із розрахунку на графічні побудови їх на плані.

Точки ходів закріплюють кілками з обкопуванням переважно з урахуванням того, що їх використовуватимуть при контрольних вимірах. Довжину таких ходів не допускають більше 15 см на плані, а лінійні нев'язки – більше 1 мм. Ходи на плані ув'язують способом паралельних ліній.

Щодо точок і ліній ходів, то ситуацію знімають способом перпендикулярів, полярним способом (здебільшого при роботі з теодолітом або мензулою), а в деяких випадках і способом кутових засічок. Для контролю у знімання включають інші тверді контурні точки.

Нижче описуються способи прокладання ходів.

1. *Теодолітний хід без допоміжних кутів.* Сторони в цьому ході (рис. 3.7) визначають вимірювальним приладом, що дає змогу обчислювати їх із відносною похибкою близько 1:1000.

Рис. 3.7. Теодолітний хід без допоміжних кутів

Допускається вимірювання сторін нитяним віддалеміром із відліками по двосторонній рейці, в якої поділки на другій стороні побудовані для коефіцієнта далекоміра 110. Розбіжність результатів вимірювання лінії по обох сторонах рейки не повинне перевищувати 1:100 від вимірюваної відстані. Кути вимірюють одним напівприйомом із контролем за магнітними азимутами.

Перед нанесенням ходу на план його будують на восківці у масштабі плану за визначеними кутами і сторонами, потім кінцеві точки на восківці суміщають з ідентичними точками на плані і при допустимій лінійній нев'язці хід на восківці ув'язують способом паралельних ліній. Після цього виправлені положення точок ходу переколюють на план (восківку зберігають як технічний документ і долучають до справи).

Із більшою точністю будують хід по румбах, які обчислюють за виміряним кутом, прийнявши румб першої лінії довільним. Після нанесення точок ходу на план побудову знятої ситуації здійснюють звичайними способами.

Середньоквадратичну похибку положення точки a ходу після його ув'язки можна визначити, розрахувавши її відносно точок *A* і *B* за формулами:

$$m^2_{taA} = m^2_{tA} + m^2_1 \ ;$$

$$m^2_{taB} = m^2_{tB} + m^2_2 \ .$$

Тут m_1 і m_2 – похибки положення точки *a* відносно точок *A* і *B*, що є результатом впливу похибок вимірювання кутів і ліній ходу на місцевості й побудови їх на плані. Їх обчислюють за наближеною формулою, справедливою для витягнутих ходів із рівними сторонами:

$$m^2 \approx m_s^2 n + \frac{n+0{,}5}{3}\left(\frac{m_\beta}{\rho}\sum s\right)^2, \qquad (3.12)$$

де n – кількість сторін ходу; m_s – помилка вимірювання лінії на місцевості та відкладення її на плані; m_β – помилка вимірювання кута на місцевості та побудови його на плані.

Якщо хід будують на плані за обчисленими румбами, то вплив похибок побудови ходу на похибку положення кінцевої його точки визначають за формулою:

$$m^2 = m^2_s n + \frac{1}{n}\left(\frac{m_t}{\rho}\sum s\right)^2, \qquad (3.13)$$

де m_r – похибка побудови румба лінії.

Положення точки *а* після ув'язки ходу можна розглядати як загальну арифметичну середину з двох значень, одержаних точок *А* і *В*, для якої:

$$m_{ta} = \frac{m_{ta} A^m t_{aB}}{\sqrt{m^2 t_{aA} + m^2 t_{aB}}}. \qquad (3.14)$$

При $m_{tA} = m_{tB} = 0{,}4$ мм, $m_s^2 = 0{,}08^2 + 0{,}08^2$, $m_\beta^2 = 1^2 + 7^2$, $n = 4$, $\Sigma s = 800$ м (при загальній довжині ходу *АВ*, яка дорівнює 1600 м, по 200 м у кожній лінії) для масштабу 1:10 000 з цим формулами одержимо:

$$m_{ta} = 0{,}36.$$

З урахуванням похибок графічної ув'язки ходу і перенесення його з восківки на план матимемо:

$$m_{ta} = \sqrt{0{,}36^2 + 0{,}08^2 + 0{,}08^2} = 0{,}39 \text{ мм}$$

Приблизно така ж сама точність положення буде і в інших точках ходу.

Наведений приклад розрахунку показує, що похибки положення точок ходу близькі до похибок положення твердих контурних точок, тому використання їх як опорних при зніманні ситуації не знизить точності відкоригованого плану.

2. *Мензульний хід* будують на планшеті під час його проведення у закритій і напівзакритій місцевості. При прокладанні ходу особливу увагу звертають на його орієнтування. передусім на першій станції, на якій планшет орієнтують за напрямком, що не менш як у два рази перевищує довжину ходу. Похибка центрування планшета в точках ходу не повинна перевищувати:

$$e \le \frac{s}{1700},$$

де *s* – довжина меншої сторони кута у ході, наприклад, при *s* = 150 м центрування планшета проводиться з точністю ≈ 0,1 м.

При коротких лініях (менше 150 м) прокладають бусольний хід за допомогою надійно орієнтованої бусолі на мензульному планшеті. Планшет центрують із точністю, яка відповідає точності масштабу.

Точність положення точок ходу можна розрахувати за формулою (3.14).

3. Хордокутомірний хід (за допомогою мірного приладу). При зніманні (коригуванні) тільки мірним приладом прокладають хордокутомірний хід, що відрізняється від теодолітного тим, що кути ходу вимірюють за допомогою стяжних хорд. Для цього від вершини вимірюваного кута вздовж його сторін або їхніх продовжень відміряють відрізки – радіуси по 10 та 20 (рис. 3.8) і кінці останніх тимчасово закріплюють металевими шпильками в створах сторін ходу. Між кінцями радіусів вимірюють хорди із точністю до 1 см. Розбіжність значень виміряних хорд з радіусами 20 м та подвоєними хордами з радіусами

10 м не повинна перевищувати 5 см. При неприпустимій розбіжності закріплених кінців радіусів уточнюють і вимірювання хорд повторюють.

Схеми вимірів кутів хордами замальовують в абрисі (журналі) із зазначенням результатів вимірів.

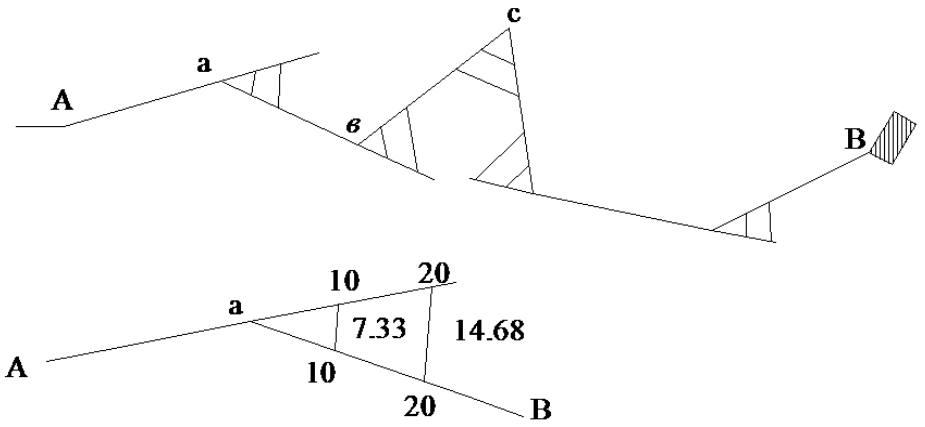


Рис. 3.8. Хордокутомірний хід

Середньоквадратична похибка вимірювання кута таким способом близька до 5', і чим менший кут, тим вища точність вимірювання.

Для нанесення ходу на план його попередньо будують на восківці (так само, як і теодолітний хід без допоміжних кутів). Кути будують за допомогою 20-метрових радіусів і хорд, відкладаючи їх у масштабі 1:200 (побудова кутів хордами дещо точніша, ніж транспортиром, тому загальна похибка вимірювання та побудови кута дорівнює 7'). Після ув'язки ходу на восківці (так само, як і теодолітного ходу) точки переколюють на план. Точність положення точок ходу можна визначити за формулою (3.14).

4. Створний хід (за допомогою мірного приладу). Для прокладання створного ходу (рис. 3.9) на твердих контурних точках *B*, *C* (якщо вони не є постійними предметами місцевості, зображеними на плані) встановлюють віхи, щоб забезпечити на них видимість із точок прокладання ходу.

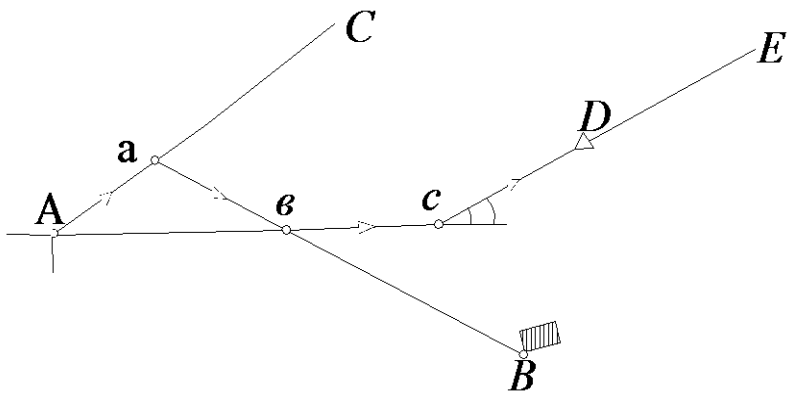


Рис. 3.9. Створний хід

Перед вимірюванням ліній ходу (з відносною похибкою порядку 1:1000) положення створу позначають віхою, яку встановлюють візуальним рішенням. В останній точці створного ходу (точка *c*) рекомендується вимірювати кут хордами або прив'язувати хід не тільки до кінцевої точки *D*, але й до створу цієї точки з іншою твердою контурною точкою *E*. Це забезпечує контроль при побудові ходу на плані, правильну його ув'язку способом паралельних ліній і підвищує точність положення точок ходу після ув'язування.

У деяких випадках створний хід можна прокладати у поєднанні з вимірюванням кутів хордами. Випадок, коли прокладання створного ходу для знімання прилеглої до нього ситуації доцільно, зображений на рисунку 3.10.

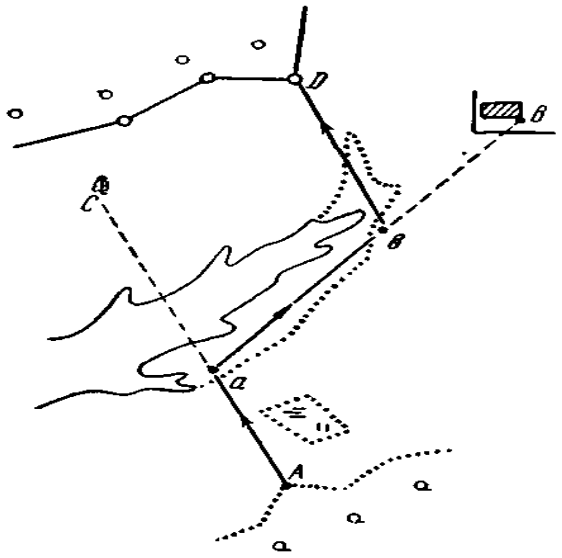


Рис. 3.10. Доцільне прокладання створного ходу

Створний хід будують (й ув'язують) безпосередньо на плані, який коригуються за напрямками створів і виміряними відстанями між точками ходу (якщо створний хід спирається на пункти геодезичної мережі, то можна обробити його з обчисленням координат, розв'язавши попередньо зворотні геодезичні задачі за координатами створних точок).

Точність положення точок ходу до його ув'язки можна визначити за формулою (3.7), а після ув'язки – за формулою (3.14).

3.5. Використання аерознімків нової аерофотозйомки при коригуванні планів (карт)

Використання аерознімків нового аерофотознімання при коригуванні звільняє виконавця від польових вимірювань, підвищує продуктивність праці й значною мірою сприяє уникненню пропусків при фіксуванні змін у

ситуації на плані, але потребує знань фотограмметрії, геометричних властивостей аерознімків і виробничих навичок. Для коригування використовують збільшені аерознімки до масштабу плану, який коригують або масштаб аерознімків може бути не більше як у два рази меншим від масштабу плану.

Після камерального звірення плану з аерознімком та польового дешифрування нових контурів постає завдання щодо перенесення їх з аерознімків на план (контури, не відображені на аерознімку, знімають наземними способами, описаними раніше). При цьому основою слугують тверді контурні точки, ототожнені на аерознімку й коригованому плані.

Існують різні способи нанесення ситуації з аерознімка на план, які можна розділити на:

– оптико-механічні;

– графічні;

– графомеханічні.

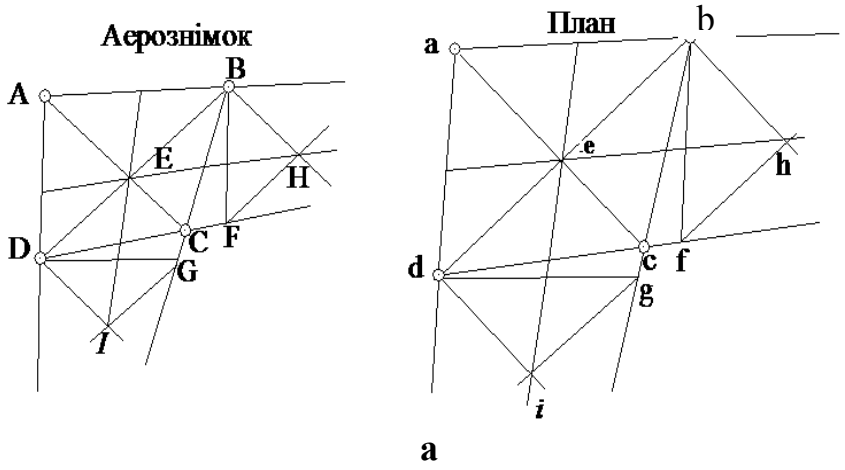
Найефективнішими є оптико-механічні способи, коли викреслюють ситуацію з аерознімків на коригований план за допомогою проектора, спеціального стереоскопа, і при цьому враховуються масштаби аерознімка й плану, який коригують. Якщо цей план є фотопланом на жорсткій основі, то аерознімок трансформують за чотирма ідентичними твердими контурними точками, а потім монтують у фотоплан.

Графічне трансформування, коли спотворенням зображення на аерознімку можна знехтувати, виконують за будовою на аерознімку та фотоплані проектних сіток (рис. 3.11). Їх будують таким чином.

Нехай на аерознімку (див. рис. 3.11 а) і на плані ідентичними відповідно є точки *A*, *B*, *C*, *D* й *a*, *b*, *c*, *d*. У створених чотирикутниках проводять діагоналі, в перетині яких одержують точки E та e. Продовжують протилежні сторони чотирикутників і з точок *B* та *D*, *b* і *d*, проводять паралельні лінії *BF* \ \ *AD*, *D*G \ \ *AB*, аналогічно *bf* \ \ *ad*, *dg* \ \ *ab* (паралельні лінії можна також проводити з точок *C* і *c*). Далі з точок *B* та *F*, *D* і *G*, а також *b* та *f*, *d* і *g* проводять лінії, паралельні діагоналям чотирикутників, у перетині яких одержують допоміжні точки *H* та *J*, *h* та *i*, а отже, і напрямки *EH*, *EI* а також *eh*, *ei*, на точки сходу. Ці напрямки позначають усередині чотирикутників, кожен з яких розділений на чотири чотирикутники однією діагоналлю.

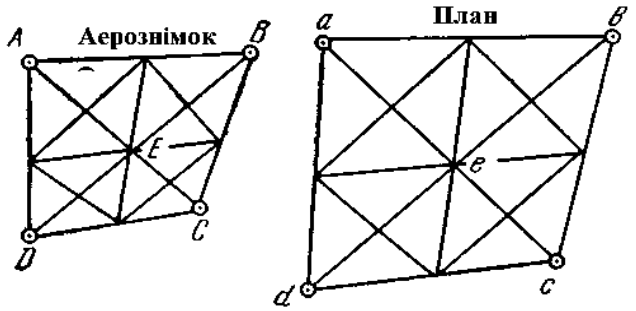
Потім проводять інші діагоналі (див. рис. 3.11 б), і через точки перетину нових діагоналей позначають нові напрямки на точки сходу й так послідовно подрібнюють чотирикутники до ламаних клітин, по яких у подальшому викреслюватимуть ситуацію з аерознімків на план.

Усі графічні роботи, особливо проведення паралельних ліній через точки і позначення напрямків на точки сходу через перетин діагоналей, виконують ретельно по лінійці і гостро відточеним твердим олівцем. Розмір сторін малих клітин звичайно доводять до 0,5 см (на плані), в межах яких ситуацію переносять частково на око, а частково, використовуючи пропорційний циркуль (див. рис. 1.4) або клиновий масштаб (див. рис. 1.5).



а

Рис. 3.11. Графічне трансформування



б

Якщо потрібно перенести з аерознімка частину контуру між точками *A* і *B* (рис. 3.12), положення яких чітко орієнтується на аерознімку й плані, який коригують – точки *a* і *b*, то контур з аерознімків копіюють на восківку, потім на восківці з довільної точки *O* якомога ближче до головної (центральної) точки аерознімка проводять промені через точки *A* і *B* всі інші поворотні точки контуру. Після цього восківку накладають коригований на план так, щоб промені *OA* й *OB* проходили відповідно через точки *a* і *b* на плані, а лінія *ab* була паралельна лінії *AB* і на промені восківки *OA* й *OB* наносять точки *a* і *b*.

Далі за допомогою пропорційного циркуля або масштабного трикутника, використовуючи рівні відношення відрізків:

$$\frac{Aa}{AO}=\frac{Bb}{BO}=\frac{Cc}{CO}=\frac{Dd}{DO}=\dots$$

від точок *C*, *D*, … відкладають відрізки *Cc*, … *Dd*, … пропорційні до відрізків *CO*, … *DO*, …

Із вищою точністю буде виконана робота, якщо через точки *A* і *B* провести прямі, використовуючи рівні відношення:

$$\frac{aO}{AO}=\frac{bO}{BO}=\frac{cc_1}{CC_1}=\frac{dd_1}{DD_1}\ \dots,$$

і від точок *c*, *d*,. . . відкладати відрізки cc_1, dd_1, ..., пропорційні до відрізків *CC*, DD_1, ... Потім, поєднавши точки *a* і *b* на восківці з ідентичними точками на плані, який коригують, переколюють точки *c*, *d* ... з восківки на план і з'єднують точки *a*, *c*, *d*, ... лініями, копіюючи їхню форму згідно з аерознімком.

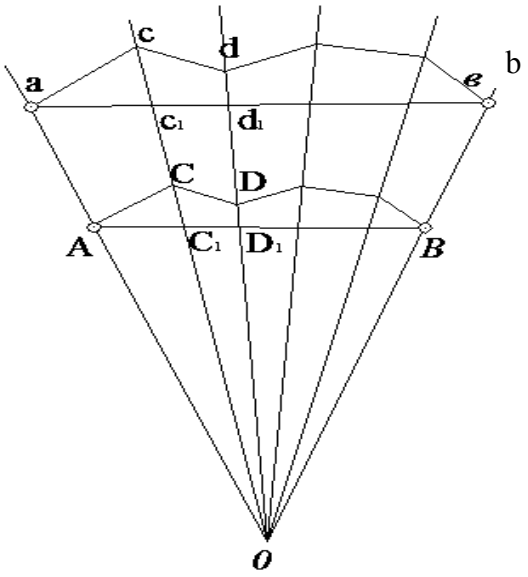


Рис. 3.12. Частина віддешифрованого контуру на аерознімку та плані

Для підвищення точності перенесення контурів з аерознімка на план і забезпечення контролю рекомендується використовувати не дві опорні точки *A* й *B*, а три і більше.

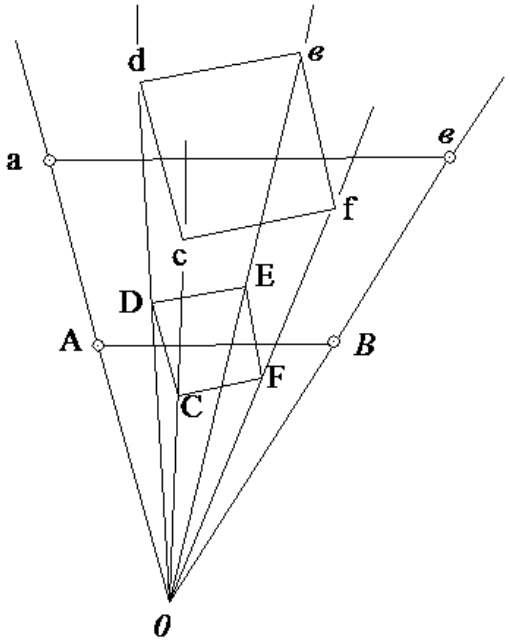


Рис. 3.13. Опорні точки, що належать до різних контурів

Опорні точки можуть належати до різних контурів (рис. 3.13), але й у такому разі порядок роботи з перенесення контуру з аерознімка на план, який коригують, буде тим же самим.

3.6. Оформлення результатів коригування, контроль

Результати знімання (коригування) після нанесення їх на план, систематично наносять на кальку – при мензульному зніманні щодня, при інших способах знімання – у міру нанесення їх на план. Складання кальки починають після огляду місцевості, потім частину нових контурів наносять на план. Крім того, при огляді місцевості зниклі контури закреслюють на плані. Ці контури також наносять на кальку і закреслюють червоними хрестиками. Контури, в яких змінилася тільки назва, показують на кальці синім кольором.

Кальку складають для досягнення таких цілей: по-перше, з метою закріплення результатів коригування та використання її при остаточному оформленні відкоригованого плану, щоб не допустити пропусків і неточності у роботі, по-друге, для визначення за калькою обсягу виконаної роботи, правильності використання наявної геодезичної мережі й твердих контурних точок як опори, правильності прокладання знімальних ходів і проведеного знімання, по-третє, для використання її при визначенні площ та внесенні в експлікації після коригування.

Зміст контурів на кальці викреслюють у встановлених умовних знаках без суворого їх розміщення, підписують назву населених пунктів, річок, струмків, озер.

Використані при коригуванні пункти геодезичних мереж, точки прокладених знімальних ходів, і геометричної мережі та перехідні точки, тверді контурні точки, використані як опора при зніманні, й станції теодоліта або мензули позначають червоними трикутниками (пункти) і кружечками (точки) із зазначенням номера (або назви), який повинен збігатися з номером в абрисі та польовому журналі. Сторони прокладених ходів проводять червоною тушшю.

Координатну сітку викреслюють синім кольором, на вільному місці кальки поміщають схему розташування аркушів, де зображено землекористування, вгорі – назва землекористування, знизу – підписи начальника, головного (старшого) інженера-землевпорядника, виконавця, дати початку і закінчення.

Відкоригований план оформляє виконавець коригування згідно з умовними знаками відповідного масштабу. При оформленні використовують кальку контурів.

Контроль за коригуванням систематично здійснюється начальником шляхом перегляду технічної документації, звірення плану з місцевістю та інструментальних вимірювань в обсязі, що залежить від кваліфікації виконавця. Розбіжності в положенні точок ситуації, які вимірюють при контролі, допускаються не більше 1 мм на плані для чітко виражених контурів і 2 мм – для нечітко виражених контурів.

Результати контролю наносять на коригований план, переносять на кальку контурів, викреслюють червоною тушшю та оформляють актом.

Роботи з коригування перевіряє і приймає головний інженер-землевпорядник або спеціалістом відділу землевпорядкування.

?

Завдання для самостійної роботи

1. Які причини зумовлюють старіння карт і планів?
2. Особливості визначення ступеня старіння сільськогосподарських карт (планів).
3. Основні способи коригування планів і карт.
4. За допомогою чого коригують плани (карти)?
5. Вкажіть формулу визначення похибки вимірювань при коригуванні карт (планів).
6. Особливості коригування планів (карт), їхня стадійність.
7. Основні види робіт, які виконують при огляді місцевості (за умови відсутності аерофотографічних знімків певної місцевості).
8. Назвіть основні типові випадки знімання для коригування планів у масштабах 1:10 000 і 1:25 000 з використанням твердих контурних точок.
9. Назвіть основні способи прокладання ходів на місцевості, зазначте їхні переваги та недоліки.
10. Переваги використання аерофотознімання при коригуванні планів і карт.
11. Зазначте порядок оформлення результатів коригування планів та карт.
12. Особливості проведення контролю приймання відкоригованих карт і планів.

Навчальний тест:

1. Причини, які зумовлюють старіння планів і карт:

1. безперервна зміна вигляду земної поверхні, підвищення вимог до їхньої точності, детальності, повноти, змісту та оформлення у зв'язку з науково-технічним прогресом;

2. невідповідність існуючих об'єктів місцевості й картографічного зображення карти;

3. безперервна зміна вигляду земної поверхні внаслідок антропогенного впливу на земельні ресурси;

4. суперечливість зображення на карті з існуючими об'єктами місцевості, постійна зміна вигляду земної поверхні, зміна вимог до оформлення карт.

2. Що розуміють під оновленням карт (планів)?

1. складання нових планів на основі нового знімання із використанням існуючих планів та їхнього геодезичного обґрунтування;

2. складання нових планів на основі проведеної інвентаризації земель;

3. оновлення картографічного зображення проведенням порівняння з існуючими об’єктами місцевості;

4. складання нових планів шляхом оновлення даних з використанням геодезичних даних.

3. Основний показник старіння планів (карт) – це відношення сум довжин знімальних контурів і нанесених на план l та суми довжин усіх контурів на момент знімання L, який обчислюють за формулою:

1) $\lambda\% = \frac{l}{L}100$;

2) $s_\Gamma = s + \frac{1}{2}s(\frac{y}{R})^2$;

3) $m_i^2 = (\frac{\partial i}{\partial h}m_h)^2 + (\frac{\partial i}{\partial s}m_s)^2$;

4) $\left(\frac{m_i}{i}\right)^2 = \left(\frac{m_h}{h}\right)^2 + \left(\frac{m_s}{s}\right)^2$.

4. Вибрати формулу, яка найоб’єктивніше й однозначно відображає фактичний обсяг виконаної роботи, а також визначає вартість роботи з коригування планів:

1) $\lambda\% = 100\sqrt{\frac{p}{P}}$;

2) $\lambda\% = \frac{l}{L}100$;

3) $m_i^2 = (\frac{\partial i}{\partial h}m_h)^2 + (\frac{\partial i}{\partial s}m_s)^2$;

4) $s_\Gamma = s + \frac{1}{2}s(\frac{y}{R})^2$.

5. Ступінь старіння карти (плану) у відсотках обчислюють за формулою:

1) $m_i^2 = (\frac{\partial i}{\partial h}m_h)^2 + (\frac{\partial i}{\partial s}m_s)^2$;

2) $\gamma = \frac{R_T - R_{T_0}}{R_{T_0}}100\% = \frac{\Delta R}{R_{T_0}}100\%$;

3) $P_0 = \frac{1}{2}(l + lq)(h + hq) = \frac{1}{2}lh(1 + q)^2$;

4) $s_\Gamma = s + \frac{1}{2}s(\frac{y}{R})^2$;

6. При коригуванні планів похибки вимірювань не повинні перевищувати:

1) 0,5 величини похибки точності плану;
2) 0,1 величини похибки точності плану;
3) 0,3 величини похибки точності плану;
4) 0,2 величини похибки точності плану.

7. Яка густота наявних геодезичних мереж необхідна при масштабі плану (карти) 1:10 000?

1) не більше 3–4 км між пунктами;
2) не більше 2–5 км між пунктами;
3) не більше 3–5 км між пунктами;
4) не більше 4–5 км між пунктами.

8. Розмістити за послідовністю виконання робіт з коригування планів (карт):

1) контроль і оформлення результатів коригування (складання пояснювальної записки або технічного звіту, підшивання й брошурування документів-схем, довідок, польових журналів, абрисів, відомостей, таблиць та ін.);
2) видалення з плану зниклих контурів;
3) польове дешифрування контурів на аерознімках нового аерофотознімання або звірення плану, який коригують з місцевістю (огляд, рекогносцирування місцевості);
4) побудова знімальної основи, де в цьому є необхідність, для зняття контурів;
5) знімання нових контурів, нанесення результатів знімання (дешифрування) на план і складання кальок виконуваної роботи (здійснюються систематично у міру виконання польових робіт);
6) підготовчі камеральні роботи.

9. Чому дорівнює гранична похибка положення точки на плані, яка не може бути використана при коригуванні плану (карти); мм:

1) 1,0;
2) 2,0;
3) 3,0;
4) 4,0.

10. Граничну похибки значення кута φ, виміряного на місцевості та на плані, обчислюють за формулою:

1) $\Delta\varphi = \frac{\Delta t * 3438}{S} \times \sqrt{2}$;

2) $mpcм^2 = 0{,}01 \times \sqrt{Pcм^2}$;

3) $\left(\frac{m_p}{P}\right)^2 = \left(\frac{m_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{m_u}{u}\right)^2$;

4) $\frac{u+u}{2} = u \times cos\,\varphi$.

Ключ до навчального тесту:
1–1; 2–1; 3–1; 4–1; 5–2; 6–1; 7–1; 8–6, 4, 5, 2, 3, 1; 9–2; 10–1.

Розділ 4

ПРИЙОМИ І ТОЧНІСТЬ ОБЧИСЛЕННЯ ПЛОЩІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ТА КОНТУРІВ УГІДЬ

4.1. Обчислення площ полігонів (контурів, ділянок) за координатами вершин і приростами координат

Якщо по межах землекористування або по частинах землекористувань прокладені теодолітні ходи, то площі обчислюють за координатами вершин полігонів. Площі контурів і ділянок можна також обчислити за координатами графічним (визначають за даним планом) або фотограмметричним (визначаються за аерознімками) методами. У навчальному посібнику «Геодезія» [11] наведено формули для визначення площі P за координатами:

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 \left(y_{i+1} - y_{1-1} \right), \tag{4.1}$$

$$2P = \sum_{i=1}^{n} y_1 \left(x_{i-1} - x_{i+1} \right), \tag{4.2}$$

коли координати вершин полігона (контуру, ділянки) виписані за ходом годинникової стрілки. Приклад для обчислення площі за формулами (4.1) і (4.2), коли спочатку визначають різниці координат:

$$X_{i\text{-}1} - X_{i+1} \text{ і } Y_{i+1} - Y_{i\text{-}1}$$

$$X_i \left(Y_{i+1} - Y_{i\text{-}1} \right) \text{ і } Y_i \left(X_{i\text{-}1} - X_{i+1} \right) .$$

Щоб уникнути грубих помилок часто використовують і формули для обчислення площ, в які поряд з координатами входять збільшення координат. Ці формули можна отримати, виходячи з виразу (4.1), який можна записати так:

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 \left(y_{i-1} - y_i + y_{i-} y_{i+1} \right),$$

або

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 y_i + \sum_{i=1}^{n} x_i y_{i-1} .$$

Оскільки

$$\sum_{i=1}^{n} x_i y_{i-1} = \sum_{i=1}^{n} x_{i+1} y_i ,$$

тоді

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 y_i + \sum_{i=1}^{n} x_{i+1} y_i . \qquad (4.3)$$

Цю формулу можна записати так:

$$2P = \sum_{i=1}^{n} y_i (x_i + x_{i+1}) = \sum_{i=1}^{n} y_i (x_i + x_i + x_i),$$

або

$$2P = 2\sum_{i=1}^{n} x_1 y_i + \sum_{i=1}^{n} x_i y_i ,$$

тому

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 y_i + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} x_i y_i \ . \qquad (4.4)$$

Формули (4.3) і (4.4) найзручніші для визначення площ на обчислювальних машинах, причому результати, одержані за цими формулами, взаємно контролюються. Зручність обчислення площ за цими формулами полягає в тому, що всі співмножники поміщаються у сусідніх графах відомості координат. Для визначення площі треба мати всього три суми похідних, з яких одна входить в обидві формули. Суми похідних обчислюють шляхом нагромадження відношень на результативному лічильнику, наприклад, обчислюючи:

$$\sum_{i=1}^{n} x_i \Delta y_i \ ,$$

одержане на результативному лічильнику відношення xi на Δy_i не скидають і не записують, а, погасивши лічильник обертів, множать x_2 на Δy_2, потім x_3 на Δy_3 і т. д.

Якщо знаки співмножників x і Δy (а також Δx і Δy) однакові, то барабан обертають по ходу годинникової стрілки, якщо ні, – проти годинникової стрілки. Якщо на результативному лічильнику на початку числа вийшли дев'ятки, наприклад, 999 977 785, то значить, що сума відношень негативна і дорівнює – 22 215.

Суми окремих похідних і результат обчислення площ полігона наведені в правій частині таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – ***Обчислення площі ділянки***

Номер точки	Прирости		Координати		Розрахунки
	Δx	Δy	x	y	
1	+443,44	-132,63	-443,44	+132,63	1) $\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i \Delta y_i = 999977785$ 22 215
*P*2	+366,42	+122,47	0	0	2) $\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} \Delta x_i \Delta y_i$ – 11 108
3	+17,19	+301,04	+366,42	+122,47	3) $\sum_{i=1}^{n} x_i \Delta y_i = +562537$
Номер точки	Прирости		Координати		Розрахунки
	Δx	Δy	x	y	
4	-181,07	+219,03	+383,61	+423,51	4) P = 551 429
5	-123,06	+247,09	+202,54	+642,54	5) $\sum_{i=1}^{n} x_i \Delta y_i = +562537$
6	-332,70	-207,22	+79,48	+889,64	6) $\sum_{i=1}^{n} x_i \Delta y_i = +540322$
7	-332,27	-138,66	-253,22	+682,41	7) $2P$ = 1102853
1	+142,05	-411,12	-585,49	+543,75	8) P = 551430
					9) P = 551430 m^2 =55,14 га

Оскільки прирости координат і координати містять десяті й соті частини метра, то в сумах відношень одержують чотири знака після коми, які записувати не треба, тому що вони є неправильним.

Дуже часто площі обчислюють тільки за координатами вершин полігона (ділянки), особливо коли потрібно визначити площу частини полігона. Щоб не робити записів різниць координат і добутків, формули (4.1) і (4.2) представляють у вигляді:

$$2P = \sum_{i=1}^{n} x_1 y_{i+1} - \sum_{i=1}^{n} x_1 y_{i-1} \tag{4.5}$$

і

$$2P = \sum_{i=1}^{n} y_i x_{i-1} - \sum_{i=1}^{n} y_{i1} x_{i-1}. \tag{4.6}$$

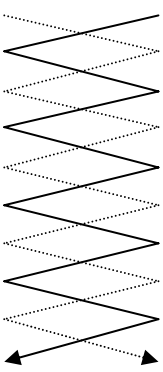
Кожну з чотирьох сум, які входять у праві частини цих формул, обчислюють шляхом нагромадження відношень на результат лічильника машини, як зазначено в таблиці 4.1. При виписуванні значень координат їх завжди корисно округляти до 0,1 м, а для площ понад 200 га – до 1 м. Наскільки великою буде втрата точності від такого округлення, можна визначити

за формулами (2.25) і (2.26), прийнявши в них значення mt = 0,029 √ 2 = 0,04 м при округленні координат до 0,1 м і mt = 0,4 м при округленні до 1 м. Перед обчисленням площ значення координат ретельно перевіряють.

Для визначення площі за формулами (4.1) і (4.2) можна застосувати прийом, який не потребує ніяких проміжних записів, проте необхідно, щоб усі координати вершин мали один і той же самий знак (усі абсциси можуть бути позитивними, а ординати негативними чи навпаки). За такої умови знаків координат при обчисленні не враховують. Щоб одержати координати з одним знаком, їх збільшують або зменшують на одну й ту ж саму величину. Для прикладу (табл. 4.2) координати, взяті з таблиці 4.1, округлені до 0,1 м, при цьому абсциси збільшені на 1000 м.

Для зручності обчислень у графу координат після координат останньої точки виписують ще раз координати першої точки, якщо число вершин полігона непарне, якщо число вершин парне, то після координат останньої точки виписують ще раз координати цієї останньої точки (див. табл. 4.2) і потім першої.

Таблиця 4.2 – ***Спосіб ялинки***

Номер точки	Координати		
	X		*Y*
1	556,6		132,6
2	1000,0		0
3	1366,4		122,5
4	1383,6		423,5
5	1202,5		642,5
6	1079,5		889,6
7	746,8		682,4
8	414,5		543,8
8	414,5		543,8
1	556,6		132,6

Обчислення виконують у такому порядку:

1) всі настановні клавіші (важелі) лічильної машини ставлять на нулі й гасять усі цифри на лічильнику обертів і результативному лічильнику;

2) холостим обертанням барабана вперед ставлять на лічильнику обертів y_1 – 132,6;

3) установлюють клавішами x_2 = 1000,0;

4) обертанням барабана вперед і назад досягають такого стану, коли на лічильнику оборотів замість y_1 виявиться y_3 = 122,5; після цього на результативному лічильнику буде число 9999 998 990 000, яке відповідає $(y_3 - y_1)\, x_2 = -10100,00$;

5) встановлюють клавішами x_4 = 1383,6;

6) обертанням барабана вперед і назад досягають такого стану, коли на лічильнику оборотів замість y_8 виявиться y_5 = 642,5 і т. д., як показує суцільна зигзагоподібна лінія, при цьому послідовно, через крапку, клавішами

встановлюють значення x, розташовані проти кутів суцільної зигзагоподібної лінії, а на лічильнику обертів, через крапку, замінюють значення *y*, розташовані також проти кутів зазначеної лінії;

7) коли клавішами буде поставлено значення $x_1 = 556{,}6$ (внизу), повертаються знову вгору і, обертаючи барабан вперед і назад (у даному випадку тільки назад), домагаються, щоб на лічильнику оборотів вийшло $y_2 = 0$;

8) клавішами встановлюють $x_3 = 1366{,}4$ і т. д., як показує пунктирна зигзагоподібна лінія, тобто на лічильнику обертів одержують значення у, розташоване проти кутів зигзагоподібної пунктирної лінії, а клавішами встановлюють значення *x*, розташоване проти кутів тієї ж самої лінії; обчислення закінчують одержанням на лічильнику обертів значення $y_1 = 132{,}6$, а клавішами – значення останньої абсциси $x_8 = 414{,}5$; на результативному лічильнику відраховують подвоєне значення площі:

$$2P = +1\ 102\ 785{,}08\ \text{м}^2 = 110{,}28\ \text{га}.$$

Для контролю одержують друге значення площі в тому ж самому порядку, тільки спочатку на лічильнику обертів отримують значення $x_1 = 556{,}6$, потім клавішами встановлюють значення $y_2 = 0$ (тобто в даному випадку нічого не встановлюють) і т. д. , як показують спочатку пунктирна, а потім суцільна зигзагоподібна лінії. В кінці обчислювальних дій на результативному лічильнику одержують негативне (у нашому випадку) значення подвоєної площі:

$$2P = 99998897\ 214{,}92.$$

Позитивне значення площі одержують, взявши додаток до $10q$, тобто:

$$2P = 1\ 102\ 785{,}08\ \text{м}^2.$$

Недолік усіх прийомів нагромадження добутків на лічильному механізмі полягає в тому, що обчислення повинні бути проведені заново, якщо в процесі їх була допущена похибка. Застосування їх для полігонів із великою кількістю вершин ефективне в тому разі, якщо полігон розбивають на частини.

Розглянутими прийомами не обмежується можливість одержання найефективніших прийомів, особливо із впровадженням у виробництво автоматичних обчислювальних машин. Так, нині площі обчислюють за формулою (4.1) за допомогою комп'ютера, коли кількість вершин, взагалі не має значення.

За виглядом цієї лінії розглянутий прийом називають способом «ялинки».

4.2. Обчислення площі за результатами вимірювання ліній і кутів на місцевості

Для визначення площ ділянок за результатами вимірювання ліній кутів на місцевості застосовують формули геометрії, тригонометрії й аналітичної геометрії. Таких формул дуже багато. Нижче розглянуті найбільш використовувані з них.

При визначенні площ ділянок для обліку і площ, зайнятих будівлями, садибами, площ оранки, посіву ділянки розбивають на найпростіші геометричні фігури, переважно трикутники, прямокутники, рідше – трапеції, які обчислюються за лінійними елементами (висоти, основи) за загальновідомими формулами геометрії. При обчисленні оранки, посіву, збирання врожаю їх визначають також за довжиною маршруту агрегату і шириною його захвату.

Якщо по межах ділянки прокладений теодолітний хід, то площу всієї ділянки або частину її можна визначити за такими формулами.

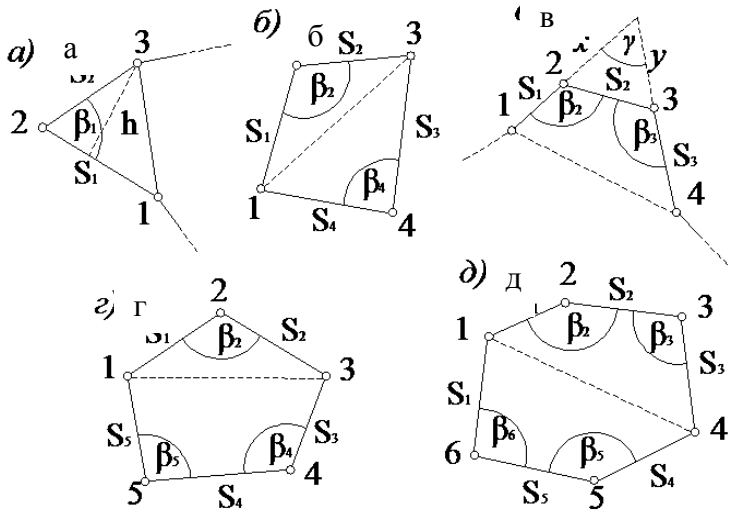


Рис. 4.1. Способи визначення площ

Трикутник (рис. 4.1, а). Визначимо його площу за двома сторонами та кутом між ними. Із рисунка видно, що подвійна площа:

$$2P = s_1 h\,, \qquad \text{(а)}$$

але

$$h = s_2 \times \sin\beta_2 \qquad \text{(б)}$$

Підставимо рівняння (б) в (а) і одержимо:

$$2P = s_1 s_2 \sin\beta_2 \qquad (4.7)$$

Якщо відомі координати вершин трикутника, то за формулою (4.1) одержимо:

$$2P = x_1(y_2 - y_3) + x_2(y_3 - y_1) + x_3(y_1 - y_2).$$

Віднімемо й додамо один і той же самий добуток x_2 ($y_2 - y_3$); тоді після перетворення матимемо:

$$2P = x_1(y_2 - y_3) - x_2(y_2 - y_3) + x_2 y_2 - x_2 y_3 - x_2 y_1 +$$
$$+ x_3(y_1 - y_2) = (y_2 - y_3)(x_1 - x_2) + x_2(y_2 - y_1) + x_3(y_1 - y_2),$$

або

$$2P = (x_1 - x_2)(y_2 - y_3) - (x_2 - x_3)(y_1 - y_2), \tag{4.8}$$

Цей вираз зручніше представити у вигляді визначника:

$$2P = \begin{vmatrix} x_1 - x_2 & y_1 - y_2 \\ x_2 - x_3 & y_2 - y_3 \end{vmatrix}.$$

Чотирикутник. Знаючи чотири сторони s_1, s_2, s_3, s_4 і два протилежні кути β_2 і β_4 (рис. 4.1, б), на підставі формули (4.7) запишемо:

$$2P = s_1 s_2 \sin\beta_2 + s_3 s_4 \sin\beta_4 .$$

За трьома сторонах s_1, s_2, s_3 і двом кутам β_2 і β_3, укладеним між цими сторонами (рис. 4.1, в), згідно з формулою (4.7) одержимо:

$$x = \frac{s_2 \sin(180° - \beta_3)}{\sin\gamma} = \frac{s_2 \sin\beta_3}{\sin\gamma}.$$

Якщо відомі координати вершин чотирикутника, то за формулою (4.1) матимемо:

$$2P = s_1 s_2 \sin\beta_2 + s_3 s_4 \sin\beta_4 + s_4 s_5 \beta_5 + s_3 s_5 \sin(\beta_2 + \beta_3 - 180°), \tag{4.9}$$

$$2P = (x_1 - x_3)(y_2 - y_4) - (x_2 - x_4)(y_1 - y_3), \tag{4.10}$$

$$2P = \begin{vmatrix} x_1 - x_3 & y_1 - y_3 \\ x_2 - x_4 & y_2 - y_4 \end{vmatrix}.$$

П'ятикутник (рис. 4.1, г). За п'ятьма сторонами і трьома кутами β_2, β_4, β_6 на підставі формул (4.7) і (4.9) отримаємо:

$$2P = s_1 s_2 \sin\beta_2 + s_3 s_4 \sin\beta_4 + s_4 s_5 \beta_5 + s_3 s_5 \sin(\beta_2 + \beta_3 - 180°).$$

Шестикутник (рис. 4.1, г). За шістьма сторонами й чотирма кутами β_2, β_3, β_5, β_6, згідно з формулою (4.9) знаходимо:

$$2P = s_1 s_2 \sin\beta_2 + s_2 s_3 \sin\beta_3 + s_1 s_3 (\beta_2 + \beta_3 - 180°) +$$
$$+ s_4 s_5 \sin\beta_5 + s_5 s_6 \sin\beta_6 + s_4 s_6 \sin\beta_6 + s_4 s_5 \sin(\beta_5 + \beta_6 - 180°).$$

За наведеними формулами площі обчислювати найкраще визначати на обчислювальних механізмах шляхом нагромадження відношень на результативному лічильнику.

Такого ж виду формули можна одержати для будь-якого *n*-кутника, тільки зі збільшенням *n* прогресивно збільшується кількість доданків у формулі. Тому при $n > 6$ доцільніше обчислювати площі по приростах координат і координатами вершин полігону.

4.3. Точність обчислення площі аналітичним способом

Якщо площу фігури визначають за результатами безпосередніх вимірювань на місцевості, то точність обчислення площі можна забезпечити, використанням теорії похибок вимірів:

$$P = \frac{1}{2} ah,$$

одержимо:

$$LnP = ln\, a + ln\, h - ln\, 2.$$

Здиференціюємо:

$$\frac{dP}{P} = \frac{da}{a} + \frac{dh}{h}$$

і перейшовши до середньоквадратичних похибок, матимемо:

$$\left(\frac{^{m}p}{p}\right)^2 = \left(\frac{m_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2. \qquad (4.11)$$

Таку ж формулу одержимо для визначення точності обчислення площі прямокутника, паралелограма і трапеції, в якої вимірюють висоту і середню лінію. Таким чином, квадрат відносної похибки обчислення площі дорівнює сумі квадратів відносних похибок вимірювань висоти та основи трикутника, прямокутника, паралелограма, висоти і середньої лінії в трапеції.

Маємо площу трапеції, якщо виміряні обидві основи и висота:

$$P = 1 / 2\ (ab)\ h,$$

у такому разі:

$$\left(\frac{^{m}p}{p}\right)^2 = \left(\frac{m_a}{a+b}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{a+b}\right)^2 + \left(\frac{m_h}{h}\right)^2. \qquad (4.12)$$

Якщо наближено вважати, що лінії на місцевості здійснюється з відносною похибкою:

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_h}{h} = \frac{1}{c},$$

то

$$m_{p=} \frac{p}{c}\sqrt{2}.$$

Приклад. При P = 100 га, 1 / c = 1 / 2000 одержимо: m_p = 0,07 га.

Чи не становить труднощів визначення похибок обчислень площ за формулами, якщо в них кути і лінії є результатами вимірів на місцевості, тобто

неув'язаними (а тому незалежними) величинами? У такому разі похибка площі залежить не тільки від точності вимірювань на місцевості, але й від формули, яку використовують для обчислення площі. Так, похибка площі чотирикутника, визначеної за формулами (4.7) і (4.9), буде неоднаковою.

Насправді, здиференціювавши вираз (4.7) за змінними s_1, s_2, s_3, s_4, β_2 і β_4, матимемо:

$$2dP = s_2 \sin\beta_2 ds_1 + s_1 \sin\beta_2 ds_2 + s_4 \sin\beta_4 ds_3 + s_3 \sin\beta_4 ds_4 + s_1 s_2 \cos\beta_2 d\beta_2 + s_3 s_4 \cos\beta_4 d\beta_4,$$

перейшовши до середньоквадратичних похибок, одержимо:

$$4m_p^2 = s_2^2 \sin^2\beta_2 m_{s3}^2 + s_4^2 \sin^2 p_4 m_{s3}^2 + s_8^2 \sin^2\beta_4 m_{s4}^2 + s_1^2 s_2^2 \cos^2\beta_2 m_{\beta 2}^2 + s_8^2 s_4^2 \cos^2\beta_4 m_{\beta 4}^2.$$

Якщо чотирикутник за формою близький до квадрата, тобто

$$s_1 \approx s_2 \approx \ \approx s_3 \approx s_4 \approx s,$$

внаслідок чого

$m_{s1} = m_{s2} = m_{s3} = m_{s4} = ms$ і $\beta_2 \approx \beta_4 \approx 90°$, $m_{\beta 2} = m_{\beta 4} = m_\beta$, то $m_{p=} m_s s = m_s \sqrt{P}$,

або

$$\frac{m_p}{P} = \frac{m_s}{s}.$$

Отже, з якою відносною похибкою вимірюють всі лінії в чотирикутнику, за формою близькою до квадрата, з такою ж самою відносною похибкою обчислюють площу.

Після диференціювання виразу (4.9) перейдемо до середньоквадратичних похибок, одержимо:

$$4m\frac{2}{p} = \{s_2 \sin\beta_2 + s_3 \sin(\beta_2 + \beta_3 - 180°)\}^2 m_{s_t}^2 + (s_1 \sin\beta_2 + s_3 \sin\beta_2 + s_3 \sin\beta_3)^2 m_{s_3}^2 +$$

$$+ \{s_2 \sin\beta_3 + s_1 \sin(\beta_2 + \beta_3 - 180°)\}^2 m_{s_2}^2 + \{s_1 s_2 \cos\beta_2 + s_1 s_3 \cos(\beta_2 + \beta_3 - 180°)\}^2 m_{\beta_2}^2 +$$

$$+ \{s_2 s_3 \cos\beta_3 + s_1 s_3 \cos(\beta_2 + \beta_3 - 180°)\}^2 m_{\beta_2}^2.$$

Якщо чотирикутник за формою близький до квадрату, то:

$$m_p^2 = 1{,}5 m_s^2 P + 0{,}5 P^2 m_\beta^2 \qquad (4.13)$$

або

$$\left(\frac{m}{P}\right)^2 = 1{,}5\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 + 0{,}5 m_\beta^2. \qquad (4.14)$$

Тут m_β виражена в радіанній мірі.

Порівнявши формули, бачимо, що похибка площі, обчисленої за формулою (4.7), виявилася меншою від похибки площі, визначеної за формулою (4.9).

Наприклад, якщо відносна похибка вимірювання лінії дорівнює 1/2000, а похибка вимірювання кута 1', то за формулою (4.14) одержимо:

$$\left(\frac{^{m}P}{P}\right)^2 = 1{,}5\left(\frac{1}{2000}\right)^2 + 0{,}5\left(\frac{1}{3438}\right)^2$$

і

$$\frac{^{m}P}{P} = \frac{1}{1540}.$$

Із наведених прикладів видно, що відносна похибка визначення площі аналітичним способом взагалі, дещо більша від відносної похибки вимірювання ліній.

Якщо обчислюють площу ув'язаного полігона, наприклад, за координатами його вершин, то формули похибки площі дуже складні, оскільки кути й лінії ув'язаного полігона залежні. Однак і в такому разі для полігонів за формою, близькою до квадрата, одержимо формули (4.12), (4.13).

Для вільних полігонів, тобто не прив'язаних до пунктів геодезичної мережі, важливу роль відіграють систематичні похибки вимірювання ліній. Коефіцієнт систематичного впливу може коливатися у значних межах залежно від способу вимірювання ліній. Наприклад, для мірної стрічки його можна прийняти рівним $\lambda = 0{,}0002$. Вплив останнього на похибку площі полігона не залежить від його форми , тому що всі лінії під впливом систематичних похибок збільшаться на величину $s\lambda$, і форма полігона не зміниться. Оскільки площі подібних полігонів відносяться як квадрати подібних сторін, то:

$$\frac{P}{P_\lambda} = \frac{s^2}{(s + s\lambda)^2} = \frac{1}{1 + 2\lambda + \lambda^2}.$$

Величина $\lambda 2$ дуже мала порівняно з іншими, тому її можна відкинути й записати:

$$\frac{P}{P_\lambda} = \frac{1}{1 + 2\lambda},$$

звідки:

$$P_\lambda - P = 2\lambda P.$$

Таким чином похибка площі полігона під впливом систематичних похибок вимірювання ліній буде:

$$P_{\text{сист}} = 2\lambda P. \qquad (4.15)$$

Приклад. При P = 1525 га, λ = 0,0002, $\sigma_{P\text{сист}}$ = 0,61 га.

Якщо полігон прив'язаний до пунктів геодезичної мережі, то вплив систематичних похибок вимірювання ліній при ув'язці ходів значною мірою послаблюється, а для витягнутих ходів виключається. Тому відносні похибки визначення площ полігонів, включених у геодезичну мережу, значно менші 1:2000.

4.4. Обчислення площ графічним способом

Графічний спосіб визначення площ полягає в тому, що ділянки, зображені на плані, розбивають на найпростіші геометричні фігури, переважно на трикутники, рідше – на прямокутники і трапеції. У кожній фігурі на плані вимірюють висоту і основу, за якими обчислюють площу. Сума площ фігур дає площу ділянки.

Чим більше кутів має межа ділянки, тим менше ефект від застосування вказаного способу. Отже, для обчислення площ ділянок, що мають велику кількість кутів, застосовувати цей спосіб недоцільно.

Найкращим варіантом розбивки ділянки на трикутники буде той, за якого трикутники близькі до рівносторонніх (точніше, висоти за величиною близькі до основ), що буде доведено в наступному пункті.

Якщо висоти або основи, за якими обчислюють площі фігур, являють собою лінії, виміряні на місцевості, наприклад сторону теодолітного полігона, то для підвищення точності визначення площ довжини цих ліній за планом не вимірюють, а беруть величини, одержані вимірюванням на місцевості. Точність обчислення площі нерівностороннього трикутника буде вищою у тому разі, якщо коротку основу (або висоту) виміряти на місцевості, а довгу висоту (чи основу) визначити за планом, що буде доведено в наступному пункті.

Для контролю та підвищення точності обчислення площу кожного трикутника визначають двічі: за двома різними основами й двома висотами і якщо розбіжність допустима, то з двох значень площі виводять середнє. Допустимість розходження між двома значеннями площі обчислюють за формулою:

$$\Delta P_{\text{га}} = 0{,}04\frac{m}{10000}\sqrt{P}_{\text{га}}\ , \qquad (4.16)$$

де M – знаменник чисельного масштабу плану.

Для забезпечення контролю обчислень і підвищення точності при виборі висоти і основи не слід прагнути до того, щоб в суміжних трикутниках вони повторювалися, оскільки це призведе до залежності результатів обчислень і може спричинити грубі похибки.

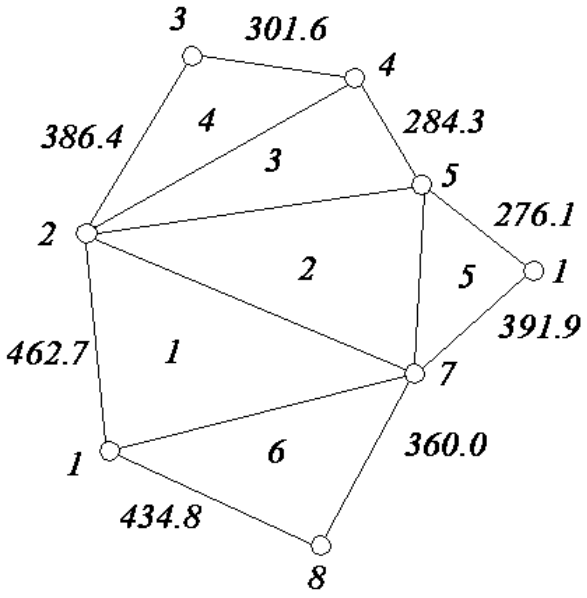


Рис. 4.2. Обчислення площ графічним способом

Обчислення графічним способом площі полігона, зображеного на рисунку 4.2, наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – ***Обчислення площ графічним способом***

Номер трикутників з вершинами	Номер виміру	Основа, м	Висота, м	Подвійні площі, га	Середнє значення подвійних площ , га
1	I	462,7	580	26,84	26,85
1–2–7	II	728	369	26,86	
2	I	458	657	30,09	30,14
2–5–7	II	674	448	30,20	
3	I	284,3	566	16,09	16,07
2–4–5	II	571	281	16,05	
4	I	386 4	280	10,82	10,86
2–3–4	II	301,6	361	10,89	
5	I	276,1	390	10,77	10,78
5–6–7	II	391,9	275	10,78	
6	I	360,0	435	15,66	15,66
7–8–1	II	434,8	360	15,65	
			Усього:	220,71	110,36

Якщо відомі координати точок по межі ділянки та є обчислювальна машина, то доцільніше застосовувати аналітичний спосіб.

Нині досліджують можливість визначення площі за графічними координатами (взятими з плану) точок контуру (полігона) за допомогою комп’ютера за формулою (4.1). Координати точок для обчислення площі визначають і фотограмметричним способом.

Існують також прилади, які автоматично визначають координати точок на плані, що записують їх на перфострічку (перфокарту), які передають у пам'ять комп'ютера, що за алгоритмом (4.1) обчислює площу контура (полігона).

4.5. Точність обчислення площ графічним способом і палеткою

При розбивці ділянки на найпростіші фігури можна застосувати багато варіантів, проте точність обчислення площі ділянки при різних варіантах не буде однаковою.

Похибку визначення площі кожного трикутника за висотою й основою можна обчислити за формулою (4.11) вона справедлива також і для прямокутника, паралелограма й трапеції, площі яких обчислюють за двома величинами, визначеними за планом.

Похибки вимірювання ліній за планом можна вважати однаковими незалежно від довжин ліній:

$$m_a = m_h = m,$$

тоді за формулою (4.11):

$$\frac{^m P}{P} = \frac{m}{ah}\sqrt{a^2 + h^3}\ . \qquad \text{(а)}$$

Оскільки для трикутника $ah = 2P$, а для інших фігур $a_1 h_1 = P$, то згідно (а) для трикутника:

$$m_{P\Delta} = \frac{m}{2}\sqrt{a^2 + h^2}\ , \qquad \text{(б)}$$

а для прямокутника, паралелограма й трапеції:

$$m_{P\text{o}} = m\sqrt{a_1^2 + h_1^2}\ , \qquad \text{(в)}$$

Якщо $a = h$, то для трикутника:

$$m_{P\Delta} = m\sqrt{P}\ , \qquad (4.17)$$

для прямокутника і паралелограма (при $a_1 = h_1$), а також трапеції при рівності середньої лінії й висоти:

$$m_{p\text{o}} = m\sqrt{2P}\ . \qquad (4.18)$$

Основу визначають точніше, ніж висоту, тому що на вимірювання висоти крім похибки визначення на плані, буде додатково впливати похибка проведення основи між вершинами кутів, до якої вимірюється висота. Проте вплив цієї додаткової похибки на похибку визначення висоти незначний,

якщо трикутник рівнобедрений. Якщо ж трикутник близький до прямокутного, то похибка висоти в 1,2 раза більша від похибки основи.

Таким чином, площу трикутника графічним способом обчислюють точніше, ніж площі інших фігур і, отже, площу, розбивкою ділянки на трикутники визначають точніше, ніж розбивкою на прямокутники, трапеції та ін. Якщо площа трапеції обчислюють за виміряними основою і висотою, тобто:

$$P = \frac{1}{2}(a+b)h,$$

то

$$m_p^2 = \frac{1}{4}\left\{h^2 m_a^2 + h^2 m_b^2 + (a+b)^2 m_h^2\right\}.$$

При $a \approx b \approx h$, $m_a = m_b = m_h = m$ одержимо:

$$m_p = m\sqrt{\frac{3}{2}P}, \tag{4.19}$$

то площу трапеції і у даному разі обчислюють не так точно, як площу трикутника.

Якщо висота дорівнює основі, то похибка площі трикутника буде найменшою. Позначимо відношення:

$$\frac{h}{a} = K,$$

тоді вираз (б) набуде вигляду:

$$m_{p\Delta} = \frac{m}{2}a\sqrt{1+K^2}.$$

Але в такому випадку:

$$P = \frac{1}{2}Ka^2$$

і тому:

$$a = \sqrt{\frac{2P}{K}};$$

$$m_{P\Delta} = m\sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}. \tag{4.20}$$

Порівняння виразів (4.17) і (4.20) показує, що площа витягнутого трикутника з відношенням висоти і основи, що дорівнює K, визначається з похибкою, в $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$ разів більшою, ніж площа трикутника $ch = a$. Це визначення

правильне і для інших фігур. Коефіцієнт $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$ легко одержати й для прямокутника, паралелограма та трапеції. Досліджуючи вираз цього коефіцієнта на екстремум, приходимо до висновку, що найменше його значення буде при $K = 1$.

Отже, при розбивці ділянки на трикутники з усіх варіантів кращим виявиться, при якому в трикутниках h ≈ a. Проте основа трикутника може бути допущена у багато разів коротша за висоту, якщо її визначають не за планом, а беруть з вимірів на місцевості. Наприклад, a = 50 м отримано вимірювання на місцевості з відносною похибкою 1:2000, а h = 1000 м одержано виміром на плані масштабу 1:000 з похибкою 1 м.

За формулою (4.11) матимемо:

$$\left(\frac{^{m}P}{P}\right)^2 = \left(\frac{1}{2000}\right)^2 + \left(\frac{1}{1000}\right)^2; \quad \frac{^{m}P}{P} = \frac{1}{900},$$

тобто в даному разі коротка основа меншою мірою вплинула на похибку площі, ніж велика висота. Якби ця основа була визначена за планом, а отже, з похибкою 1 м, то:

$$\left(\frac{^{m}P}{P}\right)^2 = \left(\frac{1}{50}\right)^2 + \left(\frac{1}{1000}\right)^2; \quad \frac{^{m}P}{P} = \frac{1}{50},$$

у такому разі похибка короткої основи поглинула точність вимірювання висоти і визначила точність площі трикутника.

Кількість трикутників, на яку розбивають ділянку, не впливає на похибку площі, тому при розбивці ділянки на трикутники немає потреби в тому, щоб їх було найменш. Справді, нехай площа многокутника P розбита на n трикутників з відношенням висот і основ, приблизно рівним одиниці, і з площами P_1, P_2, ... P_n так, що

$$P = P_1 + P_2 + \ldots + P_{\text{n}}.$$

Якщо результатів вимірювань основ і висот у кожному трикутнику не використовують для обчислення площ сусідніх трикутників, тобто площі трикутників визначені з незалежних вимірювань, то:

$$m_p = \sqrt{m_{P1}^2 + m_{P2}^2 + \ldots + m_{Pн}^2}\,.$$

Але згідно з (4.17)

$$m_{P1} = m\sqrt{P_1}\,,$$

тому:

$$m_p = m\sqrt{P_1 + P_2 + \ldots + P_н} = m\sqrt{P}\,.$$

Такий же вираз матимемо, якщо кількість трикутників буде n_1, n_2 і т.д.

Похибка визначення відстані за планом m = 0,008 см. Але враховуючи, що при розбивці фігури на трикутники не завжди вдається одержати трикутники з рівними основами й висотами, то похибку площі ділянки можна обчислювати за формулою (4.18):

$$m_{P\text{см}^2} = 0{,}01\sqrt{P_{\text{см}^2}},$$

або для планів різних масштабів:

$$m_{P\text{га}} = 0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}, \qquad (4.21)$$

де M – знаменник чисельного масштабу плану.

Площу кожного трикутника контролюють, визначаючи її двічі з незалежних висот та основ, і з двох результатів виводять середнє арифметичне. Тоді похибка площі ділянки буде в √2 разів менше, ніж це дає формула (4.21).

Гранична похибка визначення площі буде в три рази більшою від середньоквадратичної, а для одержання граничної (допустимої) розбіжності між двома значеннями площі треба потроєну середньоквадратичну похибку ще збільшити в √2 разів, тому на основі (4.21) матимемо формулу (4.16):

$$\Delta P_{\text{га}} = 0{,}04\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}.$$

Для підвищення точності визначення площі ділянки при обчисленні площ трикутників доцільно основи брати з результатів вимірів на місцевості (горизонтальні прокладення), якщо ці виміри проводили.

Точність однократного визначення площ квадратною і паралельною палетками, а також ротаметром у середньому характеризується емпіричною формулою:

$$m_{p\text{га}} = 0{,}025\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}. \qquad (4.22)$$

Якщо площу контура (полігона) обчислюють за графічними (фотограмметричними) координатами точок, то похибка визначення площі може бути обчислена за формулою, в якій m_t – помилка визначення графічних (фотограмметричних) координат у сантиметрах на плані. Наприклад, середньоквадратична похибка визначення координат вимірником за масштабною лінійкою дорівнює 0,018 см. Фотограмметричний спосіб дає змогу визначати координати з похибкою 0,005 см і менше.

4.6. Юстування і теорія перевірок полярного планіметра

При огляді планіметра до нього ставляють такі вимоги:

1. *Лічильний ролик повинен вільно обертатися на осі, не зачіплювати верньєра і не хитатися у підшипниках.* Щоб переконатися в цьому, лічильний ролик приводять у рух за допомогою пальців рук. Ролик має обертатися протягом 3–4 с. Між лічильним роликом і верньєром повинен бути проміжок, приблизно як тонкий папір. Якщо це не виконано, то вісь лічильного ролика регулюють за допомогою гвинтів *A* і *B* (рис. 4.3), що тримають підшипники *C* – *D*, попередньо відпустивши стопорні гвинти *E* і *F*.

Після того як буде досягнуто вільне обертання лічильного ролика, без хитань у підшипниках та між роликом і верньєром встановиться необхідний проміжок, загвинчують стопорні гвинти *E* і *F*.

2. *Поверхня верньєра має бути продовженням поверхні ролика.* Верньєр регулюють за допомогою гвинтів, якими він пригвинчений до рами лічильного механізму.

3. *Поділки на ролику та верньєрі повинні бути правильними.* Нанесення поділок перевіряють спостереженням збігу кінцевого штриха верньєра зі штрихами ролика при послідовному суміщенні нульового штриха зі штрихами ролика.

4. *Ригельні штрихи (рубчики) на обідку лічильного ролика мають бути нанесені правильно, щоб показання ролика були стійкими*. Для перевірки багато разів обводять контур за допомогою контрольної лінійки (щоб виключити похибки обводу) при гострому (не менше 30°), прямому і тупому (не більше 150°) кутах, які знаходяться між важелями планіметра. Таким чином, контур обводять у трьох положеннях, роблячи не менше ніж 10 обводів у кожному положенні. Щоб обвідний шпиль входив у поглиблення на контрольній лінійці, вигвинчують опорний гвинт в обвідного шпиля, а якщо в планіметрії шпиль замінений обвідним склом, то використовують спеціальну контрольну лінійку, за допомогою якої обводять контур. Коливання відстаней відліків при кожному положенні не повинні перевищувати трьох поділок (розходження між показниками при різних положеннях планіметра можуть бути значно більшими, що свідчитиме про недотримання таких умов).

Перед обводом і після нього потрібно особливо уважно змістити штрих контрольної лінійки зі штрихами на папері та вихідну точку, вибирану в тому місці, де кут між валиками близький до прямого. Значні коливання різниць відліків при одному й тому ж самому положенні полюса та контрольної лінійки і при дотриманні попередніх умов указуватимуть на недоброякісність поперечних штрихів, які не є паралельними один одному. Потім перевіряють *основні геометричні умови*.

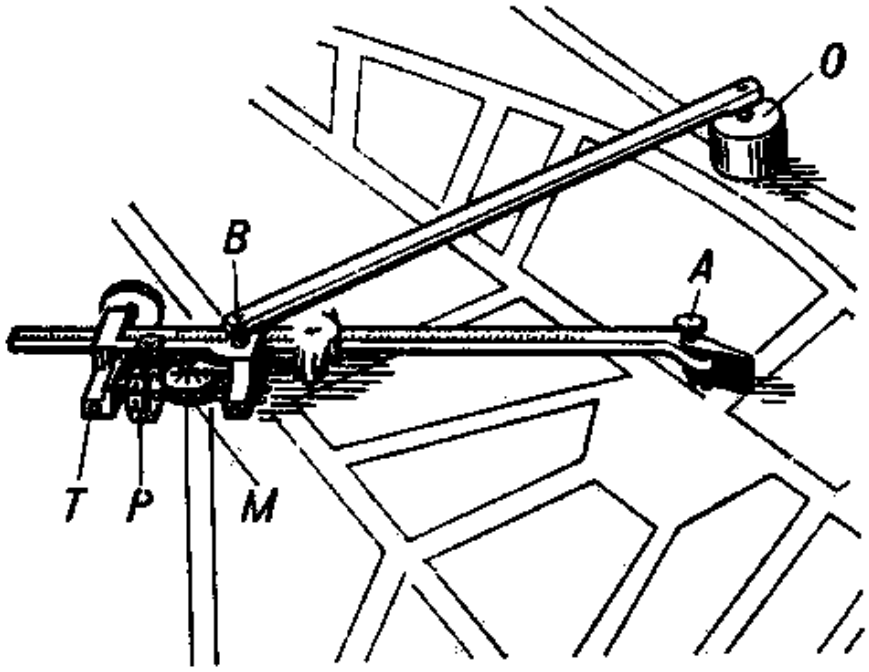


Рис. 4.3. Полярний планіметр

5. *Напрямок ригельних штрихів на обідку лічильного ролика повинен бути паралельним осі обвідного важеля.* Кут φ (рис. 4.4) між напрямками ригельних штрихів і віссю обводного важеля утворюється в результаті того, що ригельні штрихи нанесені не паралельно осі лічильного ролика.

Якщо кут φ≠0, то при обводі фігури при полюсах право й ліво планіметр дає різні показання кількості поділок планіметра при обводі фігури, якщо ця кількість поділок однакова, то планіметр виправляють.

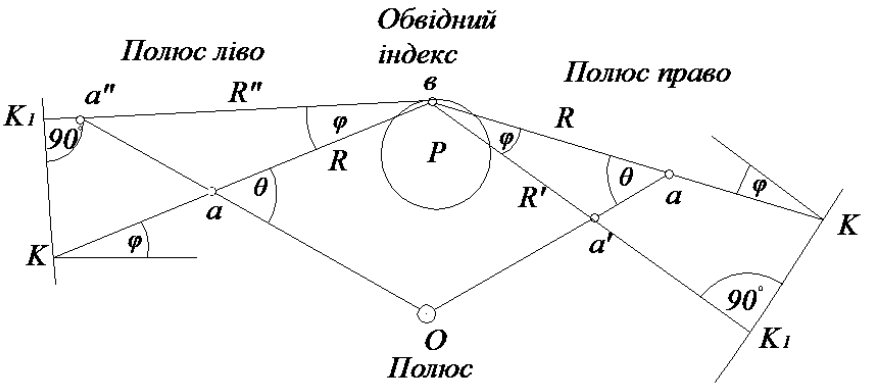


Рис. 4.4. Принцип обводу ділянки полярним планіметром

Проте при φ ≠ 0 на розбіжність показників впливає не тільки величина кута φ, але й кут θ між важелями планіметра. Щоб показати вплив кутів φ і θ на цю розбіжність, припустимо, що умова не виконана, тобто φ ≠ 0, а кут між важелями при обводах у середньому дорівнює θ (при обводі цей кут безперервно змінюється, зменшуючись і збільшуючись, тому доводиться

приймати його середнє значення). Працюючи з реальним планіметром *oa'b* із довжиною обвідного важеля *R*, можна при полюсах право і ліво представити уявний планіметр *oa"b* й *oab*, у якого виконана основна геометрична умова, коли лічильний ролик перенесений із положення *k* в положення k_1 (перенесення лічильного ролика в своїй площині не змінює його показання при обводі). Тоді довжина обвідного важеля уявного планіметра при полюсі право буде *R'*, а при полюсі ліво *R"*.

Щоб встановити залежність кількості поділок планіметра від довжини обвідного важеля *R*, напишемо відому формулу, за якою визначають площу обведеної фігури:

$$P = pu = R\tau u\,. \qquad \text{(а)}$$

Ця ж площа після обводу при полюсі право буде:

$$P = p'u' = R'\tau u'\,, \qquad \text{(б)}$$

а при полюсі ліво:

$$P = p''u'' = R''\tau u''\,. \qquad \text{(в)}$$

У цих формулах $p = R\tau$, $p' = R'\tau$, $p''= R''\,\tau$ – ціна поділки планіметра, одержувана залежно від довжини обвідного важеля, τ – розподіл планіметра, що дорівнює 1:1000 окружності лічильного ролика.

Розділивши (б) на (а), одержимо кількість поділок у результаті обводу фігури при полюсі право:

$$u' = \frac{R}{R'}u \qquad \text{(г)}$$

і розділивши (в) на (а), – при полюсі ліво:

$$u''= \frac{R}{R''}u\,. \qquad \text{(д)}$$

Відношення R/R', виражене через кути φ θ, вийде з трикутника *ваа'* (рис. 4.4) за теоремою синусів:

$$\frac{R}{R'} = \frac{\sin\{180° - (\theta + \varphi)\}}{\sin\theta} = \frac{\sin\theta\cos\varphi + \sin\varphi\cos\theta}{\sin\theta} = \cos\varphi + \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\,, \qquad \text{(д)}$$

а з трикутника *ваа"*:

$$\frac{R}{R^n} = \frac{\sin(180° - (180° - \theta) - \varphi)}{\sin\theta} = \frac{\sin\theta\cos\varphi - \sin\varphi\cos\theta}{\sin\theta} = \cos\varphi - \operatorname{ctg}\theta\sin\varphi\,. \qquad \text{(е)}$$

Підставивши значення (д) та (е) відповідно в (г) і (ґ), отримаємо:

для полюса право:

$$u' = u \times (\cos\varphi + ctg\theta \sin\varphi), \tag{4.23}$$

а для полюса ліво:

$$u' = u \times (\cos\theta \sin\varphi). \tag{4.24}$$

Тепер розбіжність результатів обводів при полюсах право і ліво буде:

$$\Delta = u' - u'' = 2u \operatorname{ctg}\theta * \sin\varphi. \tag{4.25}$$

На основі формул (4.23)–(4.25) можна зробити такий висновок. Якщо умова не виконана, $\varphi \neq 0$, а планіметр перевіряють обводом фігури при полюсі право і при полюсі ліво з кутом між важелями $\theta = 90°$, то числа поділок при обох положеннях полюса буде однаковою:

$$u' = u'' = u \cos\varphi, \ \Delta = 0$$

і перевірка планіметра з таким кутом між важелями не має сенсу, оскільки невиконання умови при цьому не виявляється. Тому для повірки основної геометричної умови обводять фігуру (найкраще коло за допомогою контрольної лінійки) при обох положеннях полюса з гострим (у середньому) кутом між важелями. При переведені планіметра з положення полюс право в положення полюс ліво, контрольну лінійку з місця не зрушують, щоб не змінити кута θ. Якщо в результаті обводів кількість поділок при обох положеннях полюса буде одна і та ж сама або розбіжність не перевищує трьох поділок, то умова виконана, в іншому разі треба повернути площину лічильного ролика щодо обвідного важеля близько до виступу *G* за допомогою виправного гвинта *N* (див. рис. 4.3), відгвинтивши попередньо гвинт *S*.

Виправлення здійснюють у кілька прийомів, користуючись кроком гвинта. Повернувши гвинт *N*, знову роблять обводення при обох положеннях полюса. Якщо розбіжність збільшилася, то, значить, гвинт *N* обертали не в той бік. Після виправлення планіметра треба загвинтити гвинт *S*.

Перевірка та виправлення планіметра є неодмінною умовою правильної роботи приладу. Середнє арифметичне з результатів обводів планіметра при полюсах право і ліво не позбавляє від похибки за невиконання умови, оскільки згідно з (4.23) і (4.24):

$$\frac{u' + u''}{2} = u \cos\varphi.$$

Не позбавляє від похибки за невиконання умови й обвід фігури при $\theta = 90°$ (у середньому), бо відповідно до тих самих формул у цьому разі одержуємо:

$$u' = u'' = u \cos\varphi,$$

тобто обвід фігури при обох положеннях полюса призводить до тієї ж самої похибки, що і при одному його положенні.

У виправленому планіметрі не рекомендується без потреби пересувати лічильний механізм на важелі, тому що при непаралельності обвідного важеля *R* його робочій грані, в яку впираються виправний гвинт *N* та овальний виступ *G*, основна геометрична умова може порушитися і виникне необхідність знову перевіряти й виправляти планіметр.

4.7. Точність визначення площі планіметром

При визначенні площі планіметром з положенням полюса цієї фігури використовують формулу:

$$P = pu,$$

в якій p – ціна поділки планіметра, а u – кількість поділок, одержаних у результаті обводу.

Злогарифмувавши наведений вираз, потім здиференціювавши одержане і перейшовши до середньоквадратичних похибок матимемо:

$$\left(\frac{m_P}{P}\right)^2 = \left(\frac{m_p}{p}\right)^2 + \left(\frac{m_u}{u}\right)^2.$$

Відносна середньоквадратична похибка визначення ціни поділки планіметра m_p/p при чотириразовому обводі трьох квадратів координатної сітки близька до 1:1000 і впливає на похибки визначення площі незалежно від розміру фігури, яку обводять та кількості обводів цієї фігури.

Похибка визначення кількості поділок mu є результатом впливу похибок:

1) відліків за лічильним роликом;

2) обводів;

3) механічного (тертя);

4) несумісності обвідного індексу з вихідною точкою на початку і в кінці обводів.

Середньоквадратична похибка відліку становить 0,5 поділки. Для одного обводу, одержуваного як різницю відліків, вона дорівнює $0{,}5 \times \sqrt{2} = 0{,}7$ поділки і не залежить від розміру обвідної фігури. Друга і третя похибки приблизно однакові і можна прийняти, що їхній вплив пропорційний до кореня квадратного з площі обвідної фігури. Четверта похибка буде найменшою, коли при початковому положенні планіметра важелі утворюють кут, близький до прямого, за величиною вона приблизно вдвічі менша від похибок відліку і також не залежить від розміру фігури. Тому середньоквадратична похибка визначення площі при одному обводі не може бути меншою 0,7 поділки планіметра і відносно середньоквадратична похибки не може бути меншою 1:1000.

Загальну середньоквадратичну похибку для одного обводу при нормальній довжині обвідного важеля 150–170 мм можна обчислити за емпіричними формулами з площею до 200 см^2 на плані:

$$m_{P\text{га}} = 0{,}7\,_{p\text{га}} + 0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003P_{\text{га}}, \qquad (4.26)$$

а понад 200 см^2:

$$m_{p\text{га}} = 0{,}005\frac{м}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}001P_{\text{га}}. \qquad (4.27)$$

У наведених формулах зі збільшенням кількості обводів зменшуються пропорційно до кореня квадратного з кількості обводів усі члени, крім останніх.

Приклад 1. Площа P = 240 га визначена двома обводами, масштаб 1:10 000, ціна поділки планіметра p = 0,1 га. За формулою (4.27) одержуємо:

$$m_p \approx 0{,}005\sqrt{\frac{240}{2}} + 0{,}001\times 240 \approx 0{,}30\text{ га}$$

Приклад 2. Площа P = 64 га визначена двома обводами, масштаб 1:25 000, p = 0,6 га. За формулою (4.26) маємо:

$$m_p \approx \frac{1}{\sqrt{2}}0{,}7\times 0{,}6 + 0{,}01\frac{25000}{10000}\sqrt{\frac{64}{2}} + 0{,}0003\times 64 \approx 0{,}46\text{ га}$$

4.8. Визначення площі за способом Савича

Спосіб А.М. Савича застосовують для визначення великих площ, наприклад площ землекористування, коли потрібна підвищена точність. Сутність його полягає в тому, що площу ділянки (рис. 4.5), укладену в ціле число квадратів координатної сітки P_0, визначають за їхньою кількістю; планіметром обводять лише площі секцій, які виходять за межі цих квадратів a_1, a_2, a_3 і a_4 і доповнюють їх до цілих квадратів сітки b_1, b_2, b_3 і b_4. Площі a і b обводять планіметром при двох положеннях полюса, по два обводи в кожному положенні, й виражають у поділках планіметра.

Нехай шукані площі секції в гектарах, що відповідають позначенням a_1, a_2, a_3, a_4, будуть Pa_1, Pa_2, Pa_3, Pa_4, Площі цілих квадратів, які відповідають кількості поділок $a + b$, позначимо через P_1, P_2, P_3 і P_4.

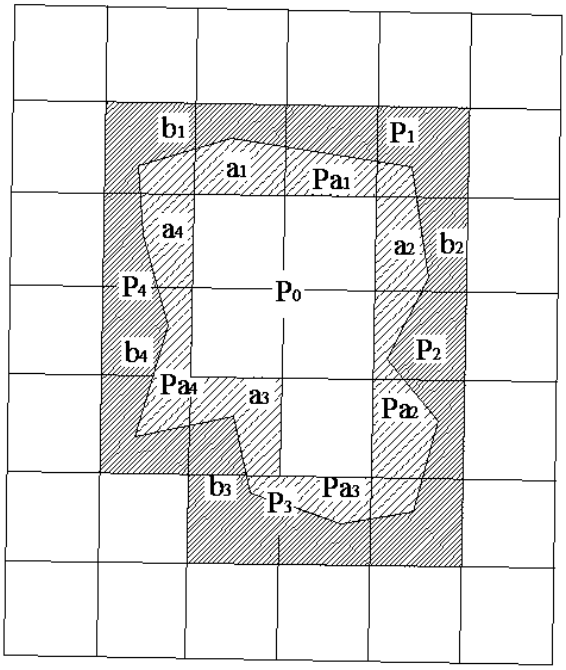


Рис. 4.5. Схема розбивки на ділянки секції за способом Савича

Оскільки між площами, вираженими в гектарах, і поділками планіметра, існує пряма пропорційність, то можна скласти залежність:

$$\frac{P_{a1}}{a_1} = \frac{P_1}{a_1 + b_1}, \qquad \frac{P_{a2}}{a_2} = \frac{P_2}{a_2 + b_2},$$

звідки:

$$P_{a1} = \frac{P_1}{a_1 + b_2} a_1, \qquad P_{a2} = \frac{P_2}{a_2 + b_2} a_2.$$

За наведеними формулами обчислюють площі секцій, які виходять за межі цілих квадратів координатної сітки. Крім того, слід мати на увазі, що величини визначають ціни поділки планіметра, і невелике розходження у них, яке не перевищує 1/400 від величини ціни поділки планіметра, свідчить про правильність визначення величини *a*. Контроль здійснюють також порівнянням величин *a* та *b*, виражають площу цілих квадратів координатної сітки в поділках планіметра. Відносна розбіжність між значеннями цих величин, відповідної площі однієї і тієї ж самої кількості цілих квадратів координатної сітки також не повинна перевищувати 1/400. Шукана площа ділянки буде:

$$P = P_a + P_{a1} + P_{a2} + P_{a3} + P_{a4}.$$

Перевага способу Савича полягає у тому, що при цьому механічно враховується деформація паперу, на якому складені план або карта, зменшується площа фігур, що обводяться, підвищується точність її визначення.

Оскільки ціна поділок планіметра має вигляд таких значень:

$$p_1 = \frac{p_1}{a_1 + b_1}, \qquad p_2 = \frac{p_2}{a_2 + b_2},$$

середнє із них:

$$p = \frac{p_1 + p_2 + ... + p_n}{n}.$$

Наведене значення p використовують при обчисленні площ окремих контурів усередині ділянки.

Точність визначення площі за способом Савича тим вища порівняно з безпосереднім обводом усієї фігури або її частин, чим більше відношення площі цілих квадратів координатної сітки до площі всієї фігури. Якщо площа цілих квадратів, які входять у фігуру, становить половину площі всієї фігури, то точність визначення площі за способом Савича буде приблизно в 3–4 рази вищою в порівняно з точністю визначення безпосереднім обводом усієї фігури. Якщо основна площа землекористування укладена у площі цілих квадратів координатної сітки, то точність визначення площі за способом Савича наближається до точності визначення площі аналітичним способом.

Приклад обчислення площі за способом Савича наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – ***Визначення площі за способом Савича***

Планіметр, № R = 134,9

Номер секції	Позначення секцій	Відліки за роликом	Різниці відліків	Середнє з різниць	Площі у поділках планіметра, u	Площі цілих квадратів, га	Ціна поділки планіметра, га	Площі секцій, га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	a_1	П.П. 1215 2833 4453 П.Л. 6883 8500 0120	 1618 1620 1617 1620	 1619 1618,5	1618,8	400	0,08063	130,52
	$в_1$	П.П. 1319 4661 8002 П.Л. 9211 2556 5897	 3342 3341 3345 3341	 3341,5 3343	3342,2			
	$a_1 + в_1$				4961,0			

Продовження табл. 4.4

Номер секції	Позначення секцій	Відліки за роликом	Різниці відліків	Середнє з різниць	Площі у поділках планіметра, u	Площі цілих квадратів, га	Ціна поділки планіметра, га	Площі секцій, га
1	*2*	3	4	5	6	7	8	9
2	a_2	П.П. 0833 2898 4963 П.Л. 8219 0288 2354	 2065 2065 2069 2066	2065 2067,5	2066,2	300	0,08067	166,68
	$в_2$	П.П. 4475 6129 7782 П.Л. 5421 7073 8724	 1654 1653 1652 1651	1653,5 1651,5	1652,5			
	$a_{1+}\ в_1$				3718,7			
3	a_3	П.П. 2825 4672 6516 П.Л. 0730 2580 4427	 1847 1844 1850 1847	 1845,5 1848,5	 1847	400	0,08065	148,96
	$в_3$	П.П. 4410 7524 0636 П.Л. 2417 5528 8643	 3114 3112 3111 3115	 3113 3113	 3113			
	$a_{3+}\ в_3$				4960			
4	a_4	П.П. 1435 2957 4482 П.Л. 2417 5528 8643	 1522 1525 1524 1525	 1523,5 1524,5	 1524	300	0,08071	123,00

Закінчення табл. 4.4

Номер секції	Позначення секцій	Відліки за роликом	Різниці відліків	Середнє з різниць	Площі у поділках планіметра, u	Площі цілих квадратів, га	Ціна поділки планіметра, га	Площі секцій, га
1	*2*	3	4	5	6	7	8	9
	$в_4$	П.П. 1408 3604 5796 П.Л. 4410 6602 8794	 2196 2192 2192 2192	 2194 2192	2193			
	$а_{4+}\ в_4$				3717			
Сума площ					7056,0	Середнє значення	0,08066	569,16
					Площа цілих квадратів			500
					Площа землекористувань			1069,16

Контроль:

1) 7056 – 0,08066 = 569,17;

2) $\frac{P\max - P\min}{p} \le \frac{0.00008}{0.08066} = \frac{1}{1080}$;

3) $\frac{(a+b)\max - (a+b)\min}{a+b} \le \frac{1}{400}; \frac{1}{4960}; \frac{1,7}{3718} = \frac{1}{2200}$.

4.9. Практика визначення та ув'язування площ

Площі землеволодінь і землекористувань визначають аналітичним способом, якщо по їхніх межах прокладені теодолітні ходи, а також за допомогою планіметра – способом Савича і дуже рідко – графічним способом.

За наявності обчислювальних машин доцільно обчислювати площі землекористуваннь за графічними (або фотограметричними) координатами точками межі.

Площі контурів сільськогосподарських угідь визначають, головним чином, планіметром і лише для обчислення площ дрібних контурів (менше 1–2 $см^2$ на плані) застосовують палетки.

Проте нині існує тенденція визначати площі контурів сільськогосподарських угідь за графічними (або фотограмметричними) координатами точок з використанням комп'ютера.

При роботі полярним планіметром керуються наступним:

1. Для визначення площ за планом папір слід випрямити на гладкому столі або креслярській дошці й закріпити. Перед роботою планіметр потрібно

перевірити, виправити, як зазначено у розділі 4.6, і визначити ціну поділки шляхом обводу трьох квадратів координатної сітки (якщо не застосовували способу Савича), по два обводи при кожному положенні полюса. Ціну поділки виражають чотирма значущими цифрами.

2. Якщо план склеєний з окремих аркушів паперу і лічильному ролику при обводі доводиться переходити через склейку з одного аркуша на інший, то необхідно, щоб при переході ролика його площина була перпендикулярною до склейки, інакше на його обертання впливатиме не тільки поверхня паперу знизу, але й ребро паперу збоку.

3. При виборі місця для встановлення полюса планіметра попередньо швидко обводять фігуру, щоб переконатися, що при цьому середнє значення кута між важелями близько до 90° і відхилення від нього в обидві сторони приблизно однакові і не перевищують 60°, тобто кут між важелями не повинен бути меншим 30° і більшим 150°.

Така вимога (щоб при обводі кут між важелями у середньому становить 90°) ґрунтується на формулах (4.23) і (4.24), які показують, що якщо фігуру обводять за будь-якого положення полюса, то треба прагнути до того, щоб відхилення кута E від прямого в обидві сторони було приблизно однаковим, оскільки в такому разі відбувається значна компенсація похибки, яка виникає від невиконання основної геометричної умови, рівнозначна компенсації похибки при обводі фігури з положенням полюсів право і полюса ліво.

4. Вихідну точку обводу вибирають у тому місці, де лічильний ролик обертається найповільніше, чого досягають при взаємно перпендикулярному положенні важелів планіметра. Невиконання цієї умови, як правило, призводять до значних похибок при визначенні площ. Так, при тупому й особливо гострому кутах, утворених важелями планіметра, найменше несуміщення обвідного шпиля з вихідною точкою на початку і наприкінці обводу, що дорівнює 0,1 мм (роздільна здатність ока), може дати похибку в 2–3 поділки.

5. Якщо для підвищення точності визначення площ потрібно обводити контур при двох положеннях полюса, то при перекладанні важелів з положення полюс право в положення полюс ліво полюс не переміщують, а лише перекладають важелі.

6. При визначенні площ землекористування або секцій фігури обводять по два рази при кожному положенні полюса. Площі контурів ситуації визначають двома обводами при одному положенні полюса.

7. Обвідний шпиль або обвідне скло ведуть плавно, обводять усі звивини контура. При обводі фігур, обмежених довгими прямими лініями, не слід користуватися лінійкою, оскільки це спричиняє похибку по всій лінії контуру в одну сторону.

8. Якщо розбіжності між результатами обводів перевищують дві поділки при площі 200 поділок, три поділки при площі від 200 до 2000 поділок і чотири поділки при площі понад 2000 поділок, то обводи повторюють. Ці

ж розбіжності можна допускати між показаннями лічильних механізмів усіх типів планіметрів, якщо діаметри лічильних роликів однакові. Якщо діаметри лічильних роликів неоднакові, то за їхніми показаннями після визначення ціни поділки планіметра обчислюють різницю в показаннях, яка пропорційна до кількості поділок і становить таблицю різниць для 100, 200, 300 і т. д. поділок. Якщо, наприклад, на 3000 поділок різниця у показаннях при визначенні ціни поділки була +22 поділок, то на 1000 поділок вона буде +7 поділок, і допустима розбіжність при обчисленні площ на 1000 поділок становитиме від +3 + 7 = +10 до –3 + 7 = +4 поділок.

9. Якщо ситуація плану має дрібні контури в кілька квадратних сантиметрів, то їхні площі визначають способом повторень, обводячи останні 3–4 рази підряд і беручи відліки перед першим обводом і після закінчення останнього. Різницю відліків ділять на кількість обводів. Площі дрібних контурів можна також обчислювати, зменшивши довжину обвідного важеля планіметра. Проте застосування способу повторень забезпечує підвищення точності ніж зменшення довжини обвідного важеля.

10. Площі вузьких контурів – доріг, канав, струмків, річок, смуг відчуження – визначають як площі прямокутників, у яких довжину вимірюють за планом, а ширину – на місцевості або теж беруть із плану. Площі вузьких контурів обчислюють за шкалами, виготовленими самим виконавцем за таким же самим правилом, згідно з яким виготовляють лінійний масштаб.

Для зменшення нев'язки в сумі площ контурів при порівнянні її із загальною площею ділянки або секції площі вузьких і вкраплених контурів включають у площі сусідніх угідь чи угідь, в які вони вкраплені. Площі вузьких і вкраплених контурів нумерують номером угіддя, в яке вони вкраплені, з додаванням літери «а», «б» і т. д. (табл. 4.5). Із метою зручності визначення площ для вкраплених контурів у таблиці 4.5 відводиться графа 10. Обчислення площ у графі 6 доцільно перевіряти за допомогою логарифмічної лінійки.

11. Щоб не нагромаджувати похибок при обводі великої кількості контурів і не компенсувати грубих похибок при визначенні площ, площу ділянки розбивають на частини – секції, що включають 50-100 контурів. Площі секцій пов'язують у площі ділянки або трапеції, обмеженою меридіанами і паралелями, а площі контурів – у кожній секції окремо. При великій контурності площі секцій доцільно приймати за 200–300 см^2 на плані.

Допустимість нев'язки суми площ секцій у площі землекористування чи в площі трапеції визначають за формулою:

$$f\partial = \frac{P}{500} \qquad (4.28)$$

Указаний допуск може виявитися «применшеним», якщо трапеція знаходиться на краю шестиградусної зони, коли відносне спотворення площі на площині в проекції Гауса досягає величини порядку 1:500. На цю

величину площа трапеції на карті більша від площі, зазначеної в спеціальних таблицях площ трапецій на еліпсоїді Красовського. Оскільки величина спотворень завжди позитивна, а нев'язка в сумі площ секцій у трапеції супроводжується знаками ±, величину спотворення, яку визначають за формулою (2.32), додають до позитивного й від'ємного значенням нев'язки (4.28) і одержують дві межі остаточного значення допустимої нев'язки.

$$\frac{Pm}{500} + Pt(\frac{Y^2}{R})\rangle - f\partial\rangle - \frac{Pmp}{500} + Pmp(\frac{Y^2}{R}), \qquad (4.29)$$

тут Y – ордината центру трапеції, а R = 6370 км (радіус Землі).

Якщо Y представити в сотнях кілометрів, то замість формули (4.29) одержимо:

$$\frac{Pm}{500} + Pt(\frac{Y^2 100}{4000})\rangle - f\partial\rangle - \frac{Pmp}{500} + Pmp(\frac{Y^2 100}{4000}).$$

Нев'язку, якщо вона припустима, розподіляють пропорційно до площ секцій.

12. Допустимість нев'язки у сумі площ контурів при порівнянні її із загальною площею ділянки або секції визначають за емпіричною формулою:

$$f\partial = 0{,}7 \times p\sqrt{n} + 0{,}05\frac{M}{1000}\sqrt{P}, \qquad (4.30)$$

де p – ціна поділки планіметра; n – кількість контурів, площі яких вимірюють планіметром; M – знаменник чисельного масштабу плану; P – загальна площа ділянки (секції).

Приклад. Масштаб 1:25 000, p = 0,5 га, n = 100, P = 1400 га.

$$f\partial = 0{,}7 \times 0{,}5\sqrt{100} + 0.05 \times \frac{25000}{10000}\sqrt{1400} = 8{,}2 \text{ га}.$$

Нев'язки розподіляють на площі, визначені планіметром, пропорційно до коефіцієнтів поправок, наведеним у таблиці 4.5.

У процесі обчислення площ контурів ситуації зіставляють кальку контурів, на яку виписують номери контурів (згідно з їхньою нумерацією у відомості обчислення площ) і площі контурів.

Після визначенні площ складають експлікацію, відповідно до форми 6 ЗЕМ. При виборі площ одного й того ж самого угіддя з відомості (див. табл. 4.5), щоб уникнути пропуску контуру або його дублювання контури угідь позначають різними значками і різнокольоровими олівцями.

Таблиця 4.5 – ***Обчислення площ контурів ситуації частини землекористування***

Коефіцієнти поправок										
Від 1 до 3 см … 1 3 5 2 5 8 3 8 15 4 15 20 5 20 25 6				Від 26 до 35 см….7 35 45 8 45 59 9 55 65 10 65 76 11 76 87 12				Від 87 до 98 см ….13 98 110 14 110 123 15 123 136 16 136 150 17 150 165 18		
Номер контура	Назва угіддя	Відліки за роликом	Різниця відліків	Середнє з різниці відліків	Площа, га	Коефіцієнти поправок	Поправки	Ув'язані площі, га	Площі вкраплених контурів, га	Площа угіддя, га
1	Рілля	2824 3344 3863	520 519	519,5	45,48	9	+0,09	45,57	–	45,57
2	Чагарник	1938 2089 2242	151 153	152	13,31	4	+0,04	13,35	–	13,35
3	Рілля	5934 6150 6366	216 216	216	18,91	5	+0,05	18,96	–	12,20
3а	Сіножать	1223 1295 1325	72 70	71	–	–	–	–	6,22	6,22
3б	Став	Площа визначена палеткою				–	–	–	0,33	0,33
3в	Дорога	422 × 5				–	–	–	0,21	0,21
4	Вигін	1817 2443 3072	626 629	627,5	54,94	9	+0,09	55,03	-	55,03
5	Рілля	1019 2691 4561	1672 1670	1671	146,30	17	+0,17	146,47	-	140,85
5а	Ліс листяний	1249 1303 1357	54 54	54	–	–	–	–	4,73	4,73
5б	Дорога	1783 × 5				–	–	–	0,89	0,89
6	Сіножать	5219 5596 5974	377 378	377,5	33,05	7	+0,07	33,12	–	33,12
7	Садиба	9945 0197 0451	252 254	253	22,15	6	+0,06	22,21	–	16,16
7а	Забудова	1750 × 20				–	–	–	3,50	3,50
7б	Вулиця	1217 × 15 + 665 × 11				–	–	–	2,55	2,55
Усього Площа, визначине за координатами Нев'язка Допустима нев'язка				334,14 334,71 –0,57 1,09		57	+0,57	334,71		334,71

4.10. Обчислення площ після коригування плану

Після коригування плану (див. розділ 3) уточнюють відомості про площі землекористування та сільськогосподарських угідь. Із цією метою використовують:

1) наявні відомості обчислення площ контурів;

2) кальки контурів із їхньою нумерацією і написами площ;

3) відкоригований план землекористування;

4) кальки контурів, складені при коригуванні.

Роботу починають із ретельного звірення змін контурів ситуації шляхом звірення кальки контурів із нанесеними результатами коригування з калькою контурів, складеної при визначенні площ до коригування. Потім зіставляють нову кальку контурів, на якій з'явилися контури, й умовні знаки показують червоною тушшю, а зниклі закреслюють червоними хрестиками.

На контурах, що не змінилися, виписують колишні номери (у чисельнику) та площі (в знаменнику) відповідно до колишніх кальок і відомостей обчислень площ.

На контурах, які повністю перейшли в інший вид угідь без зміни форми й розмірів, також виписують колишній номер контуру та його площу, а у старій відомості обчислення площ червоною тушшю виправляють назву угіддя.

Якщо частина колишнього контуру приєднана до суміжного угіддя іншого виду або весь колишній контур перестав існувати і приєднаний повністю або частинами до суміжних угідь, то за всіма частинами цього контуру зберігається його старий номер із приписком в дужках для кожної частини номера того контуру, до якого колишній контур був приєднаний.

Далі визначають площі кожної частини колишнього контуру із записом номерів у нову відомість обчислення площ (табл. 4.6) і площі частин пов'язують з колишньою загальною площею цього контуру. Якщо в групі суміжних контурів відбулися зміни і форми, й розмірів унаслідок приєднання частин цих контурів до інших видів угідь, то за тими частинами, що залишилися, зберігаються їхні колишні номери, за частинами контурів, які перейшли в інші види угідь, також зберігаються колишні номери, але з приписом у дужках номера того контуру, до якого колишній контур приєднаний. Визначають площі всіх частин із записом номерів у нову відомість обчислення площ. Суму площ усіх частин контурів пов'язують у сумі площ колишніх контурів цієї групи.

Якщо коригуванням виявлено зміну великої кількості контурів угідь, то встановлюють межі секції, в якій відбулися значні зміни. Потім пронумеровують нові контури, залишаючи колишні номери за незмінними контурами. Визначають площі нових контурів із записом у нову відомість обчислення площ і пов'язують їх із площею секції, залишаючи площі змінених контурів без змін. Площу секції при цьому не визначають, а приймають її рівною сумі площі попередніх контурів, що входять у цю секцію.

Допустимість нев'язки в сумі площ частин контуру, виміряних планіметром, або в сумі площ контурів у межах секції обчислюють за формулою, в якій позначення ті ж самі, що й у формулі (4.30).

$$f\partial = p\sqrt{n} + 0.06\frac{M}{1000}\sqrt{P}. \qquad (4.31)$$

У старій відомості обчислення площ червоною тушшю закреслюють контури, площі яких змінилися, і вказують номери нових відомостей, де визначені й ув'язані площі нових контурів.

Практика свідчить, що описане тут (часткові обчислення площ контурів після коригування) доцільне лише у тому разі, якщо зміни в ситуації сталися не більш як на 30%. При значних змінах вигідніше по-новому обчислити площі. При цьому доцільно переписувати зі старої відомості у нову результати визначення площ зі зміною контурів (і позначкою про це в примітці) й не вводити у них поправки при ув'язці площ.

Таблиця 4.6 – ***Обчислення площ контурів ситуації після коригування плану землекористування***

Номер контура	Назва угіддя	Відліки за роликом	Різниця відліків	Середнє із різниці відліків	Площа, га	Коефіцієнти поправок	Поправки	Ув'язані площі, га	Площі вкраплених контурів, га	Площа угіддя, га
46а	Ями								0,07	0,07
55(53)	Рілля	Визначено			0,76	–	– 0,01	0,75	–	0,75
55(54)	Сіножать	палеткою			0,48	–	– 0,01	0,47	–	0,47
		Попередня площа контуру 55 залежить від нев'язки. Допустимість нев'язки: $0{,}1\frac{M}{10000}\sqrt{P}$			1,24 1,22 +0,02 0,11	–	– 0,02	1,22	–	1,22
		Визначено палеткою								
56(54)	Сіножать	1782			0,30	–		0,30	–	0,30
56(53)	Рілля	1894	112	111						
		2004	110		11,10	4	+0,07	11,17	–	10,87
		600 × 5								
56(53)а	Дорога	2960							0,30	
		2916	44	43,5						
		3003	43							
56	Чагарник									
		5529			4,35	2	+0,04	4,39		4,39
		5610	81							
56(57)	Рілля	5691	81	81	8,10	4	+0,07	8,17		8,17

Продовження табл. 4.6

Номер контура	Назва угіддя	Відліки за роликом	Різниця відліків	Середнє із різниці відліків	Площа, га	Коефіцієнти поправок	Поправки	Ув'язані площі, га	Площі вкраплених контурів, га	Площа угіддя, га
		Отже попередня площа контуру 56 (чагарник)			23,85 24,03	10	+0,18	24,03		24,03
		Нев'язка Допустима нев'язка $0{,}1\sqrt{3+0{,}06\sqrt{24}}$			–0,18 0,46					
53	Рілля	2212 2352 2489	140 137	138,5	13,85	4	– 0,05	13,80		13,62
53а	Дорога	360 × 5							0,18	0,18
53(55)	Сінокіс	Вирахувано палеткою			0,35	–	–	0,35	–	0,35
		Усього Попередня площа контуру 53 (ріллі)			14,20 14,15	4	– 0,05	14,15		14,15
		Допустима нев'язка 0,1+0,06√14			+0,05 0,32					

4.11. Визначення площі району й області

Площа району, яку необхідно знати при обліку земель, визначають різними методами залежно від наявності планово-картографічного матеріалу. Якщо є планово-картографічний матеріал на всі землекористування , то сума площ землекористування становитиме площу земель району. Такий спосіб визначення площі доцільний, якщо площа кожного землекористування визначена надійно й якщо в районі всі межі землекористувань встановлені. На планах суміжних землекористувань вони мають таку геометричну подібність, що на основі окремих планів землекористування без труднощів можна скласти карту для всього району. Однак досвід складання районних карт показує, що межі на планах суміжних землекористувань не завжди мають геометричну подібність, не на всі землекористування є плани достатньої точності й площі деяких землекористувань, наприклад площі лісових масивів, водних просторів, тощо, визначають наближено, внаслідок чого сума площ землекористувань, складова площа району, характеризується грубою похибкою, яка нерідко становитиме десятки і навіть сотні гектарів. Така похибка викликає недовіру не тільки до площі району, але й до площ землекористувань і створює невпевненість в обліку земель у районі. Крім того, площа району повинна бути відома з достатньою точністю для того, щоб контролювати визначення площ землекористувань.

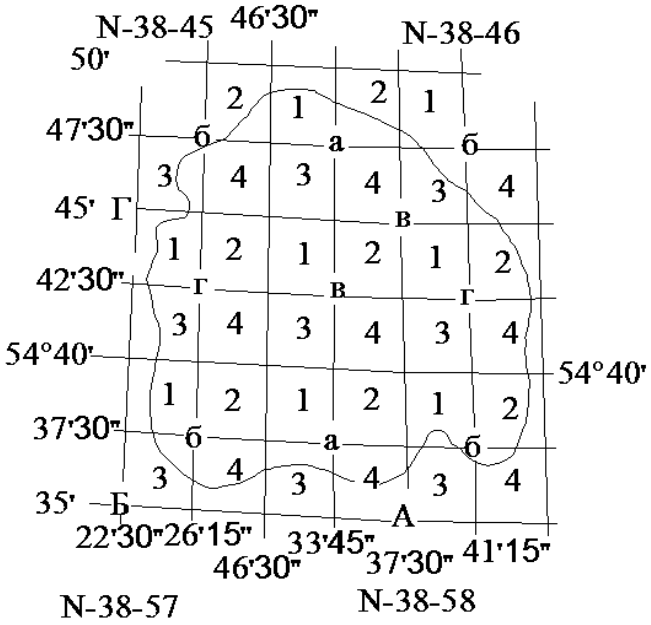


Рис. 4.6. Встановлення меж району

Сума площ землекористувань має дорівнювати площі району або відрізнятися від неї на допустиму величину. Найдоцільніше надійно площу району визначати за трапеціями, за спеціальними таблицями (наприклад, таблиці координат Гауса – Крюгера, М.: Геодезиздат, 1947 або «Повчання по виробництву мензульних і теодолітних зйомок у масштабі 1:10 000, геодезія». На листи цих трапецій ретельно наносять межі району з координатами поворотних точок або графічно з планів землекористувань за допомогою восківки, встановлюючи межі між точками, надійно урозпізнаваними на трапеції.

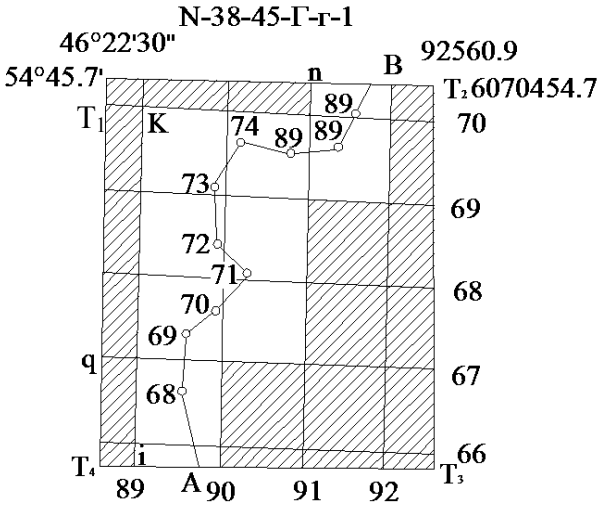


Рис. 4.7. Встановлення поворотних точок

Після нанесення меж району на трапеції обчислюють площі частин трапецій, які розсікають межі району, а площі цілих трапецій, що входять у площу району (див. рис. 4.6), визначають за вказаними раніше таблицями.

Площі частин трапецій обчислюють аналітичним способом або планіметром. При застосуванні аналітичного способу частини трапеції (рис. 4.7) визначають за координатами точок A, 68–77, B, T_2, T_3. Координати точок 68–77 вибирають із відомості координат відповідних землекористувань, координати точок T_2, T_3 (вершин трапеції) – зі спеціальних таблиць (таблиці координат Гауса–Крюгера). Координати точок A і B, що знаходяться у перетині меж району з рамками трапеції, обчислюють за найкоротшими відстанями T_4A і T_2B, взятими від вершин трапеції графічно за планом, і за координатами вершин трапеції шляхом лінійного інтерполювання за формулами:

$$\left.\begin{aligned} Xa &= XT_4 + \frac{T_4a}{T_4T_3} + (XT_3 - XT_4) \\ Xa &= YT_4 + \frac{T_4a}{T_4T_3} + (YT_3 - YT_4) \\ Xв &= XT_3 + \frac{T_2B}{T_1T_2} + (XT_2 - XT_3) \\ Yв &= YT_3 + \frac{T_2B}{T_1T_2} + (YT_2 - YT_3) \end{aligned}\right\} \qquad (4.32)$$

У наведених формулах T_1, T_2 і T є розмірами рамок трапеції, які вибирають зі спеціальних таблиць, виправлені при перенесенні на площину проекції Гауса або їх обчислюють за координатами вершин трапеції за формулами:

$$T_1T_2 = \sqrt{(XT_2 - XT_3)^2} + \sqrt{(YT_3 - YT_1)^2},$$
$$T_3T_4 = \sqrt{(XT_3 - XT_4)^2} + \sqrt{(YT_3 - YT_4)^2}.$$

без внесення будь-яких поправок.

Якщо точки, координати яких обчислюють, знаходяться на західній чи східній рамки, то лінійне інтерполювання дає близькі до точних результати. Якщо точки розмістити на північній або південній рамці (як у нашому випадку), що являють собою дуги, які не можна прийняти за прямі, то в обчисленні за формулами (4.32) абсциси слід ввести зі знаком мінус поправки (табл. 4.7).

Координати точок A і B можна визначити також за дирекційними кутами ліній T_4A і T_2B внесенням поправок за рахунок зближення меридіанів.

Так, дирекційний кут лінії T_2B становитиме:

$$\alpha' TB = азимут\ AT2T1 - \gamma T3 = 270° - (1°10{,}5') = 268°49{,}7'.$$

Таблиця 4.7 – ***Поправки в абсциси та дирекційні кути***

Найближча відстань від вершини трапеції, м	Поправка в абсцису після лінійного інтерполювання, м	Поправки в дирекційний кут, мін	Найближ-ча відтань від вершини трапеції, м	Поправка в абсцису після лінійного інтерполювання, м	Поправки в дирекційний кут, мін
1000	0,1	0,3	4000	1,8	1,5
2000	0,4	0,7	5000	2,8	1,9
3000	1,0	1,1	6000	4,0	2,3

Координати точки *B*:

$$XB = XT2 + T2B \times \cos\alpha T2B = 6070454{,}7 + 814 \times \cos 268°49{,}7' = 6070438{,}1 \text{ м},$$

$$YB = YT2 + T2B \times \sin\alpha T2B = 92560{,}9 + 814 \times \sin 268°49{,}7' = 6070438{,}1 \text{ м}.$$

Оскільки північна і південна рамки трапеції є дугами, їх безперервно змінюють зі зміною відстані від вершини трапеції, в обчислену абсцису точки (6 070 438,1) треба ввести поправки згідно з таблицею 4.7, зі знаком плюс. Тому виправлене значення абсциси точки В буде:

$$XB = 6070438{,}1 + 0{,}1 = 6070438{,}2 \text{ м}.$$

Значення абсциси можна одержати і без указаної поправки, якщо попередньо виправити дирекційний кут, відповідно до табл. 4.7. При цьому для лінії у східному напрямку дирекційний кут необхідно зменшити на зазначену в цій таблиці величину, а для лінії у західному напрямку збільшити на цю величину.

Координати точки Y перетину двох прямих 77–В і Т2В можна також обчислити за відомим дирекційним кутом (дирекційним кутом лінії 77–В як сторони теодолітного ходу і дирекційним кутом лінії Т2В як рамки трапеції – з виправленням його на величину, зазначену в таблиці 4.7) і координатами точок 77 і Т2. Проте цей прийом потребує багато часу на обчислення.

Якщо точка на рамці знаходиться не далі 500 м від вершини трапеції, то величину координат цієї точки можна визначити графічно за планом.

Щоб виявити грубі похибки, обчислені площі перевіряють за допомогою планіметра. Оскільки площа обчислена за координатами Гауса, то вона перебільшена, тому в неї вносять поправку, яку визначають за формулою:

$$\Delta P = P\left(\frac{Y}{R}\right)^2,$$

де Y – ордината центру ваги фігури, а R – середній радіус Землі.

У нашому випадку:

$$\Delta P = 1157\left(\frac{91{,}2}{6371}\right)^2.$$

Тому площа на місцевості (еліпсоїді) буде:

$$P = 1156{,}76 - 0{,}24 = 1156{,}52 \text{ га}.$$

Якщо межі району нанесені на план графічно (не за координатами), то площі визначають за способом Савича, тобто планіметром по частинах обводять фігуру, що входить у площу району, і фігуру, яку доповнюють до повної трапеції. Суму цих двох площ пов'язують у площі трапеції, вибраної зі спеціальних таблиць. За відсутності таких таблиць площу трапеції обчислюють за координатами вершин за формулою (4.10):

$$2P'Tp = (XT_1 - XT_3) \times (YT_2 - YT_4) - (XT_2 - XT_4) \times (YT_1 - YT_3)$$

Допустимість нев'язки визначають за формулою (4.29). У нашому випадку:

$$2P = 23135262$$

$$\begin{gathered} 2PTp = (6070374{,}1 - 6065816{,}9) \times (92560{,}9 - 88627{,}7) - \\ - (6070454{,}7 - 60654736{,}2) \times (88536{,}8 - 92656{,}0) - \\ - 4557{,}2 \times 3933{,}2 + 4718{,}5 \times 4119{,}2 = 37360824 \text{ м}, \end{gathered}$$

$$PTp = 1868{,}04 - 1868\left(\frac{90{,}6}{6271}\right)^2 = 1867{,}66 \text{ га}$$

Тут при малій кількості вершин і великій площі доцільно зберігати у співмножнику десяті частки метра.

Для підвищення точності визначення площі шляхом зменшення обвідних планіметром частин трапеції, площі фігур, заштрихованих на рисунку 4.7, обчислюють за координатами. При цьому ординати точок *a*, *f*, *i* та *n* відомі (*ya* = 90 000,0 м, *yf* = 92 000,0 м і т. д.), а абсциси визначають інтерполяцією (як указувалося раніше) за відстанями від найближчих вершин трапеції, які дорівнюють:

$$\alpha T4 = \frac{Y\alpha - YT4}{\cos\gamma T4} = \frac{1372{,}3}{\cos 1°07{,}3'}) = 1372{,}6 \text{ м};$$

$$fT2 = \frac{YT2 - Yf}{\cos\gamma T2} = \frac{560{,}9}{\cos 1°10{,}3'}) = 561{,}0 \text{ м},$$

де γ – зближення меридіанів.

Для точок, що лежать на західній і східній рамках, відомі абсциси, а ординати обчислюють за відстанями, що визначають за формулою:

$$gT4 = \frac{Xg - XT4}{\cos\gamma T4}$$

Для інтерполяції координат відстані від вершин трапецій до точок на межах практично можна визначити як різниці ординат або абсцис, тобто:

$$\alpha T4 = Y\alpha - YT4 \quad fT2 = YT2 - YT1 \quad gT4 = Xg - XT4$$

Обчислення площ фігур, заштрихованих на рисунку 4.7, наведено в таблиці 4.7 (у ній замість площі фігури $T_3abcdefT_2$ визначена площа фігури $T_3ab'c'f\,T_2$, потім додано 400 га).

Після обчислення PIII незаштриховану частину трапеції обводять планіметром чотири рази при обох положеннях полюса, причому окремо на схід від межі району й окремо на захід від неї. У результаті обводів вийшло відповідно a = 4643 поділок і b = 4680 поділок. Тоді контролем обчислень є:

1) ціна поділки планіметра, яка від раніше визначеної не повинна відрізнятися більш як на 1 / 400 її величини;

2) $Pa + PB = Pa + \dfrac{PIII}{a+b}B = PIII$

Таким чином, площа району, що входить у площу трапеції буде:

$$P = P1 + Pa = 724{,}89 + 431{,}20 = 1156{,}1 \text{ га}$$

Для підвищення точності визначення площі шляхом зменшення обвідних планіметром частин трапеції її поділяють на трапеції більшого масштабу, наприклад у трапеції масштабу 1:10 000, або за координатами вершин, чи ретельним поділок рамок трапеції навпіл одержують рамки трапеції масштабу 1:5000 (на рис. 4.7 ці рамки показані пунктирними лініями). Площі таких трапецій визначають за спеціальними таблицями. Площі частин трапецій, що входять у площу району, вимірюють планіметром за способом Савича.

Площу області обчислюють так само, як і площу району, з тією лише різницею, що для цього застосовують головним чином механічний спосіб і користуються трапеціями дрібнішого масштабу (1:25 000, 1:50 000 та 1:100 000). Для зменшення обвідних планіметром частин трапеції проводять рамки трапецій більших масштабів, площі яких визначають за спеціальними таблицями.

Завдання для самостійної роботи

1. Вкажіть основні формули обчислення площ полігонів за визначеними координатами вершин.
2. Особливості обчислення площ полігонів за результатами вимірювань ліній і кутів на місцевості, назвіть найпоширеніші способи визначення.
3. Назвіть основні способи визначення площ полігонів.
4. Точність обчислення площ аналітичним способом.
5. Точність визначення площ графічним способом та за допомогою палеток.
6. Точність обчислення площ механічним способом.
7. Вимоги і порядок виконання повірок полярного планіметра.
8. Спосіб визначення площ за методом Савича, переваги та недоліки використання цього способу.
9. Визначення й ув'язка площ: порядок проведення, основні формули, допустимість.
10. Порядок та особливості обчислення площ після коригування планів, допустимість одержаної нев'язки.
11. Основні способи визначення площ району та області, основні складності, їхні переваги й недоліки.

Навчальний тест

1. Формули для визначення площі *P* за координатами:

1) $2P = \sum_{i=1}^{n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$;

2) $\frac{u+u}{2} = u \times \cos\varphi$;

3) $(\frac{mp}{P})^2 = u \times \cos\varphi$;

4) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{mp}{P})^2 + (\frac{mu}{u})^2$;

5) $mp\text{ср}^{\ 2} = 0{,}01 \times \sqrt{P\text{см}^{\ 2}}$.

2. Встановіть співвідношення фігури за формулою знаходження її площі:

1) трикутник (a);
2) чотирикутник (b);

3) п’ятикутник (c);
4) шестикутник (d).

a. $2 \times P = s1h$;

b. $2 \times P = s1 \times s2 \times \sin\beta 2 + s3 \times s4 \times \sin\beta 2$;

c. $2 * P = s1 \times s2 \times \sin\beta 2 + s3 \times s4 \times \sin\beta 4 + s4 \times s5 \times \sin\beta 5 + s3 \times s5 \times \sin(\beta 4 + \beta 5 - 180°)$

d. $2 \times P = s1 \times s2 \times \sin\beta 2 + s2 \times s3 \times \sin\beta 3 + s1 \times s3 \times \sin(\beta 2 + \beta 3 - 180°) + s4 \times s5 \times$
$\times \sin\beta 5 + s5 \times s6 \times \sin\beta 6 + s4 \times s6 \times \sin(\beta 5 + \beta 6 - 180°)$

3. Точність обчислення площі аналітичним способом, обчислюють за формулою:

1) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{mp}{P})^2 + (\frac{mu}{u})^2$;

2) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{ma}{a})^2 + (\frac{mh}{h})^2$;

3) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{mp}{P})^2 + (\frac{mu}{u})^2$;

4) $mp_{\text{га}} = 0{,}7\, p_{\text{га}} + 0{,}01 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003 * P_{\text{га}}$.

4. Точність обчислення площі трапеції визначення за формулою:

1) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{ma}{a+b})^2 + (\frac{mb}{a+b})^2 + (\frac{mh}{h})^2$;

2) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{mp}{P})^2 + (\frac{mu}{u})^2$;

3) $mp_{\text{га}} = 0{,}7\, p_{\text{га}} + 0{,}01 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003 \times P_{\text{га}}$;

4) $2P = \sum_{i=1}^{n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$.

5. Похибка площі земельного масиву під впливом систематичних похибок виміру ліній:

1) $P_{\text{сист}} = 2\lambda P$;

2) $mp_{\text{га}} = 0{,}7\, p_{\text{га}} + 0{,}01 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003 \div P_{\text{га}}$;

3) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{ma}{a})^2 + (\frac{mh}{h})^2$;

4) $(\frac{mp}{P})^2 = (\frac{mp}{P})^2 + (\frac{mu}{u})^2$.

6. Допустимість розходження між двома значеннями площ обчислюють за формулою:

1) $\Delta P_{\text{га}} = 0{,}04 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$;

2) $\frac{Mp}{P} = \frac{m}{a \times h} \times \sqrt{(a^2} + h^{h2})$;

3) $mp = 0{,}005 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}001 \times P_{\text{га}}$;

4) $P_{\text{сист}} = 2\lambda P$.

7. Точність обчислення площ графічним способом та палетками визначають за формулою:

1) $\frac{Mp}{P} = \frac{m}{a \times h} \times \sqrt{(a^2} + h^{h2})$;

2) $P_{\text{сист}} = 2\lambda P$;

3) $mp = 0{,}005 * \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}001 \times P_{\text{га}}$;

4) $\Delta P = 0{,}004 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$.

8. **Коливання різниць відліків при кожному положенні планіметра (право та ліво) не повинні перевищувати:**

1) 3 поділки;
2) 5;
3) 2;
4) 1;

9. Формула для визначення площі обвідної фігури за допомогою планіметра залежно від довжини обвідного важеля:

1) $P = p \times u = R \times \tau \times u$;

2) $\Delta P = 0{,}004 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$;

3) $\frac{Mp}{P} = \frac{m}{a * h} \times \sqrt{(a^2} + h^{h2})$;

4) $P_{\text{сист}} = 2\lambda P$.

10. Допустимість нев'язки суми площ секції у площі землекористування або в площі трапеції обчислюють за формулою:

1) $f\text{доп} = +/- \frac{P}{500}$;

2) $\frac{Mp}{P} = \frac{m}{a \times h} \times \sqrt{(a^2} + h^{h2})$;

3) $mp_{\text{га}} = 0{,}7\, p_{\text{га}} + 0{,}01 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003 \times P_{\text{га}}$;

4) $P = p \times u = R \times \tau \times u$.

Ключі: 1–1; 2–1a, 2b, 3c, 4d; 3–2, 4–1, 5–1, 6–1, 7–1, 8–1, 9–1, 10–1.

Розділ 5

СПОСОБИ І ПРИЙОМИ ПРОЕКТУВАННЯ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

5.1. Вимоги до точності площ і розташування меж ділянок

При проведенні землеустрою, планування сільських населених пунктів, меліоративних заходів потрібно щоб проект був складений і перенесений у натуру технічно правильно. Показником технічної правильності проекту є точність, яку необхідно забезпечити при проектуванні окремих об'єктів, не підвищуючи вимог. Проте недостатня точність виконання геодезичних робіт спричиняє неприпустимі похибки в розмірах сторін і формі ділянок, їхніх площах, а також у неправильності проектування ділянок відносно рельєфу місцевості, що погіршує умови виробничої діяльності сільськогосподарських підприємств.

Указані недоліки часто призводять до того, що на полях залишаються клини при оранці, сівбі та інших роботах, у прямокутних полях не виходять квадрати при квадратно-гніздовому способі сівби, садіння та ін.

Внаслідок того, що сторони ділянок не паралельні, кути не прямі, є похибки в площах, зменшується виконання тракторних робіт, збільшується витрата пального, ускладнюється організація польових процесів. Крім того, при неточному визначенні площ ділянок порушується правильність обліку земель, урожайності, планування сільськогосподарських робіт, розрахунку кормів тощо. Неточно спроектовані канали будуть неправильно функціонувати.

5.1.1. Вимоги до паралельності й перпендикулярності сторін ділянок

При виконанні виробничих процесів сучасними машинно–тракторними агрегатами, особливо широкозахватними посівними, і при проведенні квадратно-гніздовим способом сівби просапних культур необхідно чітке дотримуватися паралельності проходів цих агрегатів.

Якщо похибка в паралельності сторін ділянки велика, особливо, якщо вона досягає 15–20 м, як це іноді трапляється, щороку залишаються клини біля меж полів і ділянок не тільки при сівбі, але й оранці, збиранні врожаю та ін. Непаралельність сторін ділянки викликає незручності при виконанні

механізованих польових робіт, особливо в сівозмінах, насичених просапними культурами.

Відносна похибка паралельності сторін полів (тобто відношення поперечного зсуву кінця лінії до її довжини) і ділянок за сприятливих умов, при ретельній розбивці робочих кутів на місцевості може характеризуватися величиною 1:1000. У кутовій мірі, враховуючи похибки в обох сторонах ділянки, ця похибка становитиме:

$$\delta = \frac{2 \cdot 3438'}{1000} \approx 7 - 8'$$

Застосування квадратно-гніздового способу сівби і садіння просапних культур викликає необхідність забезпечити крім паралельності сторін ділянок, також і прямі їхні кути, якщо ділянки проектують у вигляді прямокутників або прямокутних трапецій.

При значному порушенні перпендикулярності сторін порушується прямолінійність рядів сівби в поперечному напрямку внаслідок зсуву їх на стиках при прямому й зворотному проходах посівного агрегату. Це ускладнює поперечний обробіток міжрядь, а в гірших умовах навіть виключає можливість такого обробітку, що зводить нанівець переваги цього способу сівби.

Для успішного застосування квадратно-гніздового або квадратного способу сівби і садіння сільськогосподарських культур потрібно, щоб похибка у побудові прямих кутів на місцевості не перевищувала 8–10'.

У міру вдосконалення сільськогосподарської техніки підвищуватимуться і вимоги до точності робіт з організації території. Тому слід забезпечити вже при сучасних землевпорядних роботах деякий запас точності.

5.1.2. Вимоги до точності площ ділянок

Вимоги сільськогосподарського виробництва до точності площ полів сівозмін та інших господарських ділянок різняться залежно від господарського значення тих чи інших ділянок, особливостей організації процесів виробництва на них та ін. Точніше повинні бути визначені площі полів овочевих та інших спеціальних сівозмін, насичених цінними трудомісткими культурами. Але точність землевпорядних робіт має бути такою, яку в змозі освоїти сільськогосподарське виробництво. Висока точність бажана, однак виробництвом вона, зазвичайно, не освоюється, оскільки площі полів та інших відокремлених ділянок при кожній новій оранці змінюються.

При оранці крайніх від меж і доріг загінок, зорана частина, як правило, більш-менш збігається з межею поля або дороги. При оранці ж утворюються вже значні недоорювання і переорювання, величина яких при роботі потужними тракторами становить 1,5–1,8 м, а малопотужними 0,4–0,5 м. Це відбувається тому, що ширина до кінця роботи на незораній частині загінки

завжди буває більшою або меншою від ширини захвату тракторних плугів. Якщо при останньому проході агрегату від межі ділянки залишається лише вузька смуга, то тракторист не робить заїзду для її оранки, а залишає незораною вздовж дороги. Якщо ж залишається смуга, більша половини ширини захвату плуга, то тракторист звичайно оре повним захватом, заорює частину від дороги, країв лісової смуги або від іншої ділянки. Таким чином, встановлені межі полів фактично дещо зміщуються.

По кінцях полів зміни межі ріллі спостерігаються більш значні – іноді до 3–4 м у великих полях і до 1–1,5 м – малих. Крім того, межа засіяної площі полів не завжди збігається з межею зораної площі. Вносять зміни до межі також й у результаті протипожежної оранки посівів.

Якщо прийняти, що частіші зміни меж полів будуть у середньому в два рази меншими від указаних граничних і встановити величину звичайних поточних і найчастіших змін до площ, то ці зміни дають відносну похибку площ 1:600.

У полях, обмежених криволінійними контурами балок, ярів, лісів, чагарників і тощо, поточні зміни до межі ріллі, як правило, бувають дещо більшими, особливо, коли у них чергується напрямок оранки. Тому в таких полях можуть бути допущені значніші похибки – близько 1:400 їхньої площі, а при різкій криволінійності меж полів – до 1:300.

Відносна величина похибок залежить і від площі ділянки. Площі великих ділянок при одних і тих же самих способах складання проекту й перенесення його у натуру матимуть менші відносні похибки, ніж площі малих. Таким чином, при визначенні та проектуванні площ окремих полів і ділянок, які використовують для обробітку цінних сільськогосподарських культур, досягнення відповідно вказаної похибки менше 1:600 для ділянок із прямолінійними межами і 1:300 для ділянок з криволінійними межами недоцільне, оскільки вона все одно зменшиться в результаті зазначених поточних змін.

Залежно від трудомісткості та цінності сільськогосподарських культур, якості й властивостей ґрунтів тощо змінюються вимоги до точності, а отже, змінюватимуться допустима похибка обчислення площі окремих ділянок, сівозмін та їхніх ділянок.

Для забезпечення точності площ окремих ділянок і полів, що характеризується відносною похибкою 1:300, загальна площа землекористування, в яку входять кілька сільськогосподарських угідь і десятки ділянок (полів), потрібно одержати з вищою точністю, інакше при ув’язці площ ділянок у загальній площі землекористування спотворяться площі цих ділянок. Слід прагнути до того, щоб поправка до площі ділянки при ув’язці не перевищувала 1/3 середньоквадратичної похибки визначення площі, тобто загальну площу землекористування необхідно одержати із середньою відносною похибкою близько 1:1000. Тому загальні площі в землекористуванні слід обчислювати за способом Савича, якщо не застосовують аналітичного способу.

Для забезпечення потрібної точності визначення площ садибних ділянок, зазвичайно їх вимірюють на місцевості і за цими даними обчислюють їхні площі.

5.1.3. Вимоги до точності визначення ухилів

Вимоги до точності визначення нахилів залежать від цілей, виконання геодезичних робіт. Так, при проектуванні ділянок для механізованого обробітку, необхідну точність нахилів вибирають, виходячи із впливу рельєфу на продуктивність машинно-тракторних агрегатів (табл. 4.1).

Таблиця 5.1 – ***Продуктивність машинно-тракторних агрегатів***

Типи тракторів	Колісні			Гусеничні		
Нахили	1–2°	3–4°	4–6°	1–2°	3–4°	4–6°
Поправочні коефіцієнти для норм продуктивності	0,98	0,95	0,90	0,99	0,98	0,95

Із таблиці 5.1 видно, що поправочний коефіцієнт для норм продуктивності праці можна встановити для нахилів з похибками в межах приблизно 1°. Тому план (карта) із зображенням рельєфу буде задовольняти вимоги проектування ділянок для механізованого обробітку, якщо за горизонталями плану можна буде визначити нахил із точністю до 1/2–1°, або до 1–2%. При цьому успішно можна розв’язувати завдання правильного розміщення на схилах полів сівозміни, лісових смуг та ін.

Така ж точність задовольняє вимоги ґрунтового та геоботанічних обстежень в умовах досить вираженого рельєфу (горбиста місцевість). Ця точність визначення нахилів буде при використанні планів масштабів 1:10 000 і 1:25 000 із висотою перерізу рельєфу 2,5 і 5 м, про що зазначено у розділі 8.

Вищі вимоги до точності зображення рельєфу ставляться при проектуванні зрошувальних чи осушувальних систем. Для проектування зрошувачів або стоку води на поверхню ґрунту, нахил можна визначити з середньоквадратичною похибкою 16% [1, с. 15]. Отже, якщо проектують зрошувач із середнім нахилом 0,004, то визначення його за планом може супроводжуватися похибкою 0,004–16:100 ≈ 0,0006, що відповідає похибці кута нахилу всього 0,0006–3438' ≈ 2'.

5.2. Складання ескізних проектів

У підрозділі 5.2 зазначалося, що проекти землеустрою розробляють, як правило, у два прийоми:

1) складання попереднього (ескізного) проекту;

2) складання остаточного (технічного) проекту.

Ескізний проект розробляють на тому ж плановому матеріалі, на якому складають і технічний проект, а в ряді випадків для розробки ескізного проекту використовують аміачну копію з плану або виготовлену на восківці.

Об’єкти проектують за допомогою планіметра одним обводом проектованої ділянки, а також за допомогою номограм і палеток.

Застосовують також графічний спосіб проектування, округлюючи значення розмірів сторін, взятих з плану до 1 і навіть до 10 м, та використовуючи при обчисленнях логарифмічну лінійку. Площі спроектованих ділянок на ескізному проекті показують округлено: великих – до 1 га, а середніх і дрібних – до 0,5 га при масштабі 1:10000 і до 1 га – при масштабі плану 1:25 000.

У практиці землеустрою для ескізного проектування ділянок використовують номограму професора Г.І. Горохова (рис. 5.1). Вона розроблена з розрахунку обчислення площ та проектування ділянок у формі прямокутників, трапецій і трикутників.

Номограма складається з лінії основи та гіперболічних кривих для роботи на планах різних масштабів. Площі прямокутників обчислюють таким чином. Ширину H_1 (висоту) ділянки, взяту з плану вимірювачем, укладають між лінією основи і кривої для певного масштабу (на рис. 5.1 крива з написом M = 1:25 000), знаходячи її місце за перпендикуляру до основи. Коли для взятого відрізка знайдено відповідне йому місце, тобто коли одну ніжку вимірювача суміщають з лінією основи, а другу – з кривою, зазначають по розподілах лінії основи місце цього перпендикуляра. Потім беруть з плану другу сторону прямокутника і відкладають її від змінної точки на лінії основи за перпендикуляром до нього L_1.

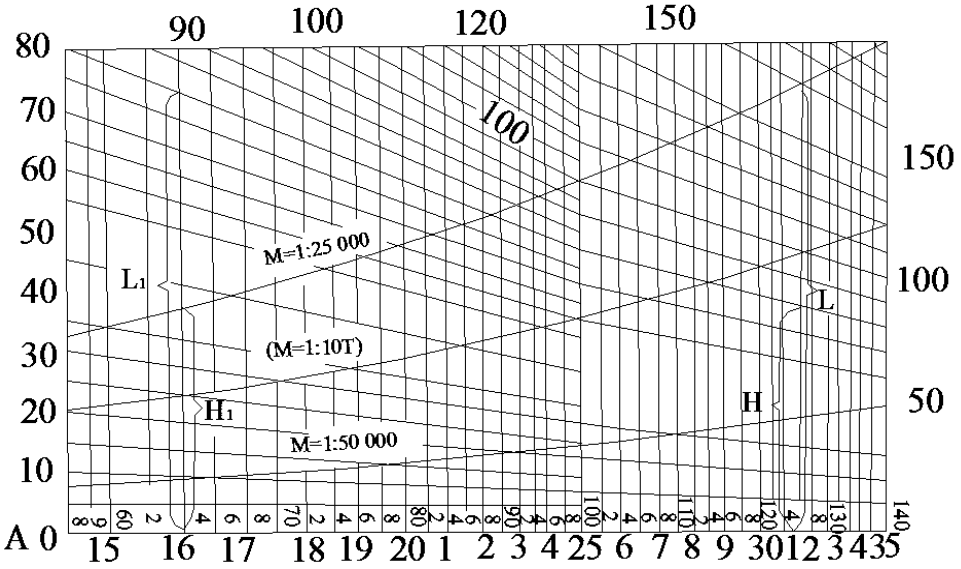


Рис. 5.1. Номограма професора Г.І. Горохова

За положенням другої ніжки вимірника між похилими прямими (з написами площ) роблять відлік площі ділянки, яка в прикладі (див. рис. 5.1) дорівнює 80 га.

При масштабі 1:10 000 використовують іншу криву з написом M = 1:10 000 (10 Т). При цьому відлік площі зменшують у 10 разів, оскільки

написи площ дають у 10 разів збільшене їхнє значення. Отже, при цьому масштабі площі ділянок визначають із точністю до 0,1 га.

Проектують ділянки в зворотному порядку: з плану беруть довжину L_1 (див. рис. 5.1), знаходять її місце між лінією основи й похилою прямою, що виражає при масштабі 1:25 000 задану площу 80 га (при масштабі 1:10 000 задану площу попередньо збільшують у 10 разів). Перевівши ніжку аналізатора на похилій прямій на криву цього масштабу, одержують шукану висоту H_1 (ширину) проектованої ділянки (див. рис. 5.1, спосіб 1), яку відкладають на плані. Можна довжину L укладати між лінією основи і кривою масштабу (див. рис. 5.1, спосіб 2), тоді висоту H визначаються за відстанню між лінією площі, яка буде до 80, і лінією основи.

Надписи, розміщені над лінією основи і під нею, показують довжини перпендикулярів у метрах від лінії основи до кривих, зменшені в 10 разів: над лінією основи – для масштабу 1:25 000, а під нею – для масштабу 1:10 000. За цим надписом обчислюють площі під вузькими контурами (дороги, лісосмуги, канави, річки), ширина яких відома. Для цього у розчин вимірника набирають їхню довжину і відкладають її за перпендикуляром від тонкої лінії основи, де є надпис перпендикуляра, в 10 разів більша від ширини вузького контуру. Відлік роблять у положенні другої ніжки вимірника, зменшують його в 100 разів при масштабі 1:25 000 й у 1000 разів при масштабі 1:10 000 і одержують шукану площу з округленням до 0,1 га при масштабі 1:25 000 і до 0,01 га при масштабі 1:10000.

Номограмою зручно користуватися для визначення ширини вузьких смужок недостатньої площі до проектованої ділянки або надлишкової, що доводиться робити при механічному і графічному способах складання проекту. Для цього визначають відсутню чи надлишкову площу, збільшують її при масштабі 1:10 000 у 100 разів, а потім вимірником беруть із плану довжину проектованої смужки, знаходять її місце між основою на похилій прямій, яка виражає збільшену площу, і за розподілами під лінією основи одержують ширину проектованої смуги в метрах.

При масштабі 1:25 000 площа проектованої смуги збільшується у 10 разів, а ширину відраховують за поділками над основою. Наприклад, потрібно запроектувати площу 8 га. Довжина проектованої смуги буде зображена, як лінія L_1 (див. рис. 5.1, спосіб 1), що в масштабі 1:25000 дорівнює 1250 м. Ширина смуги рівна 64 м. Беруть її за масштабною лінійкою і відкладають на плані.

Площі ділянок, які мають форму трапеції, обчислюють за висотою й середньою лінією, а проектують (визначають висоту) – по заданій площі середньої лінії, взятої з плану.

Для трикутника за висотою та основі одержують подвійну площу. Площі багатокутників обчислюють за частинами, розбивши їх на трикутники і трапеції. Криволінійні фігури – окомірно й приводять до прямолінійних.

Як свідчать дослідження, відносна похибка проектування й обчислення площ за вказаною номограмою становить близько 1:150 на ділянці до 8–10 см^2 і 1:200 – 1:250 см^2 – на більших площах.

Попередні загальні начерки проекту іноді роблять навіть окомірно, а потім, переконавшись у господарській доцільності планованого розміщення, уточнюють розташування угідь та інших елементів організації території, застосовуючи викладені прийоми.

5.3. Способи та правила складання технічних проектів

Технічні проекти складають на основі закінчених ескізних проектів, обговорених і перевірених у щодо господарської доцільності та юридичної правильності. При розробці технічного проекту уточнюють положення меж і площ запроектованих ділянок, обраховують необхідні геодезичні дані для технічно правильного розташування на місцевості запроектованих ділянок.

Залежно від виробничих вимог до точності площ та розміщення меж тих чи інших ділянок, їхньої конфігурації й наявності геодезичних даних по межах масиву, в якому проектують ділянки, застосовують ті ж самі способи з представлених технічних проектів землеустрою, які використовують при обчисленні площ, а саме:

1) графічний – за лінійними величинами, виміряними на плані;

2) механічний – за допомогою планіметра;

3) аналітичний – за лінійними і кутовими величинами, вимірюваними на місцевості або ж за їхніми функціями (координатами).

Крім того, при складанні проекту застосовують:

а) наближений аналітичний спосіб проектування;

б) графоаналітичний.

Важливою умовою застосування того чи іншого способу створення проекту землеустрою є господарське значення проектованих ділянок, їхньої площі та характер меж.

Проектування ділянок – один з трудомістких геодезичних процесів, що потребує значної уваги до визначення операцій, акуратності й порядку ведення записів розрахунків і обчислень.

Проектування ділянок є дією, зворотною обчисленню площ. Якщо при обчисленні площ визначають площі фігур на плані, то при проектуванні визначають положення ліній, які обмежують фігуру на плані, відповідно до вказаної площі. У результаті цього точність проектування з деяким наближенням може бути заокругленою до точності обчислення площ.

Однак проектування ділянки не завжди обмежується тим, що по заданій площі та відомим лінійним вимірам визначають інші невідомі лінійні величини. Дуже часто проектування проводять методом послідовного наближення, тобто попередньо визначають тим чи іншим способом або

навіть на око межі ділянки заданої площі, потім обчислюють цю площу, а після цього проектують недостатню або надлишкову площу до одержання ділянки заданої площі. Якщо недостатнє чи надлишкова площа виявляється дуже великою, то нерідко доводиться другий раз уточнювати межі, а далі вже проектувати недостатню площу. Проектування супроводжується визначенням попередньо запроектованих площ. Крім того, конфігурація ділянки зумовлює необхідність застосовувати два способи, коли площу попередньо запроектованих ділянок вимірюють планіметром або обчислюють аналітичним способом, а відсутню або надлишкову площу проектують графічно чи за допомогою номограми.

У багатьох випадках можуть бути використані способи наближеного графоаналітичного або аналітичного проектування за спрощеними формулами чи за округленими вихідними даними за допомогою логарифмічної лінійки.

Усі наведені обставини не завжди дають можливість обчислювати площі при проектуванні за такими ж самими схемами, як при обчисленні площ у натурі. Тому при проектуванні доводиться вводити обчислення в особливі зошити і супроводжувати їх заголовками і поясненнями, наприклад, «Поле польової сівозміни №... площею ...», «Залишається спроектувати...», «Дані взяті з відомості №...» та ін. У зошиті проектування, зазвичай зліва, зображують схему розташування проектованих ділянок, указують їхні номери, площі та ін.

Слід уникати будь-яких записів на окремих аркушах без певної системи і пояснень; безсистемний запис часто призводить до того, що проектувальник, допустивши грубу помилку, не може розібратися у власному матеріалі й буває змушений виконувати наново великий обсяг обчислювальних дій.

Проектування, так само як і обчислення площ, виконують за відомим правилом – від загального до конкретного, тобто групами ділянок, після чого в кожній групі проектують окремі ділянки. Так, спочатку проектують господарські центри, сівозміни, групи полів сівозміни, у межах якої потім проектують поля. Зазначений порядок проектування дає змогу уникнути похибок при виявленні грубих помилок і спрощує ув’язку спроектованих на плані ділянок.

У межах полів сівозміни та інших ділянок, крім тих площ, які використовують для посівів площі є дороги, лісові смуги тощо. Тому перед складанням проекту потрібно розрахувати чисті (використовувані) й загальні площі спроектованих ділянок (із дорогами, лісосмугами тощо) .

Щоб одержати задану для проектування загальну площу поля чи ділянки, до чистої його площі додають площі всіх інших угідь, що входять у межі поля чи ділянки: дороги, лісові смуги та ін. Це легко зробити, використовуючи ескізний проект.

Для того щоб своєчасно виявити грубі помилки, застосовують поточний контроль правильності проектування ділянок за допомогою номограм, одним обводом планіметра, а обчислювані відстані контролюють графічними вимірами за планом.

5.4. Проектування графічним способом

Ділянки часто проектують графічно – шляхом обчислення площі попередньо спроектованої ділянки, після чого проектують відсутню або надлишкову площу до заданої. При цьому заздалегідь спроектована площа залежно від ступеня зламу меж, може бути визначена планіметром або аналітичним способом. Необхідну чи надлишкову площу проектують трикутником або трапецією з урахуванням умов, які ставляться до проектної лінії.

Проектування трикутником виконують у тому разі, якщо проектна лінія проходить через якусь певну точку. При цьому за заданою площею і відомою висотою (чи основою) визначають основу (або висоту) трикутника.

На рисунку 5.2, а зображена частина землекористування, де потрібно спроектувати площу P лінією MN, що проходить через точку F. Нехай різниця між проектною площею P і площею чотирикутника $BCDF$ (обчисленої, припустимо, також графічним способом) дорівнює P_1 гектарів. Якщо ескізним проектом установлено, що північний кінець проектної лінії повинен пройти через точку F, то південний кінець її перетне лінію AB деенебудь вправо від точки B. Від цієї точки розташується основа, а трикутника BFK, форму якого має відсутня площа P_1. Висотою цього трикутника буде перпендикуляр h, опущений з точки P на лінію AB (рис. 5.2, а) або на її продовження (рис. 5.2, б). Довжину беруть із плану графічно. Тоді основу трикутника визначають за формулою:

$$a = \frac{2P_1}{h} \tag{5.1}$$

Одержану відстань виписують окремо на план або зазначають у відомості. Її використовують при перенесенні проекту в натуру, щоб мати на місцевості проектну точку K.

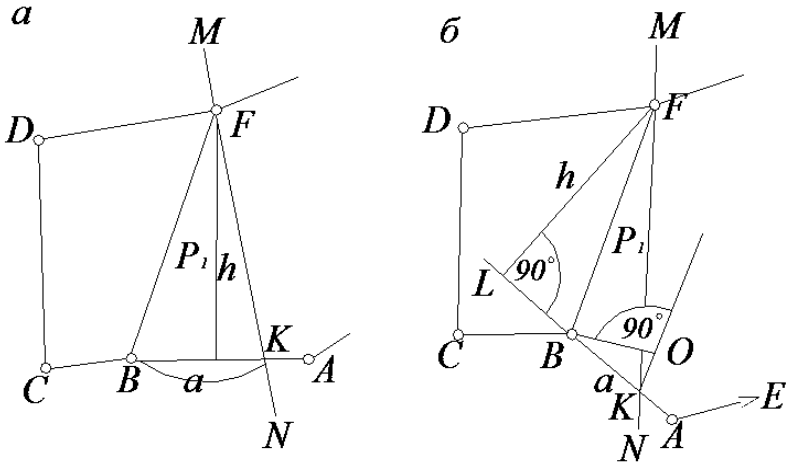


Рис. 5.2. Проектування трикутником

Якщо обчислений відрізок а довшої лінії *BA*, тобто площа P_1 більша від площі трикутника *ABP*, то визначають площу цього трикутника і знаходять перетин проектної лінії з лінією *AE* за попереднім способом. Для цього вимірюють висоту від точки *P* до лінії *AE* або до її продовження і т. д.

Для встановлення точності обчислення відстані а за формулою (5.1) злогарифмуємо цю формулу:

$$In\ a = In\ 2 + In\ P_1 - In\ h\ .$$

Здиференціюємо одержаний вираз:

$$\frac{d\,a}{a} = \frac{d\,P_1}{P_1} - \frac{d\,h}{h}\ .$$

Перейдемо до середньоквадратичних похибок:

$$\left(\frac{m\,a}{a}\right)^2 = \left(\frac{m_{\,P_1}}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{m\,h}{h}\right)^2 . \qquad (5.2)$$

Якщо P_1 – задана площа, то її можна вважати безпомилковою, тобто mp_1 дорівнює нулю, тоді:

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_h}{h}\ . \qquad (5.3)$$

Отже, з якою відносною похибкою виміряна висота, з такою самою ж відносною похибкою буде обчислена основа і навпаки.

Приклад. P_1 = 1 га, висота *h* – 400 м, за планом масштабу 1:10 000 вона вимірюється з середньоквадратичною похибкою m_h = 0,8 м (при визначенні висоти до продовження лінії *BA* m_h буде приблизно в √2 разів більша, якщо *BA* не коротша від *BL*). Значення а й m_a знаходять, використавши формули (5.1) і (5.3). З останньої випливає, що:

$$m_a = \frac{a \cdot m_h}{h}.$$

Формула (5.3) і наведений приклад свідчать, що якщо виміряна висота більша відшуканої основи в *n* разів, то похибка обчисленої основи буде в *n* разів менше, ніж помилка вимірювання висоти. При $a = h$ матимемо: $m_a = m_h$. Якщо $a > h$, то $m_a > m_h$.

Це ж завдання проектування трикутником можна розв'язати трохи інакше, а саме: лінія (див. рис. 5.2, б) слугує основою трикутника *BFK*, тоді його висота:

$$BO = \frac{2\,P_1}{B\,F}.$$

Щоб одержати сторону трикутника, на лінії *BA* потрібно з точки *O* провести пряму, паралельну *BF*, до перетину з лінією *BA*. У перетині матимемо потрібну точку *K*.

У порівнянні з попереднім наведений спосіб має такі недоліки: по-перше, необхідний додатковий час на побудову лінії *OK*; по-друге, цей спосіб менш точний, оскільки утворюється зайве джерело похибок при побудові висоти *BO* та лінії *OK*.

Проте розглянутий спосіб проектування трикутником дає дуже просте розв'язання задачі при проектуванні площі P_1 прямо в натурі без плану за допомогою екера і вимірювального приладу.

Наприклад, відома площа P_1, яку треба спроектувати, у натурі вимірюють лінію *BF* (див. рис. 5.2, б) і за допомогою логарифмічної лінійки визначають довжину перпендикуляра $BO = (2P_1/BF)$, одержану довжину відмірюють за перпендикуляром, поновленим до лінії *BF* із точки *B* за допомогою екера. В кінці цього перпендикуляра (точка *O*) будують другий перпендикуляр у бік лінії *BA*, і його перетин з лінією *AB* дає шукану точку *K*.

Проектування трапецією використовують, якщо проектна лінія проходить паралельно заданому напрямку. В такому разі при заданій площі й довжині середньої лінії цієї трапеції, встановленої за планом, обчислюють висоту трапеції, а потім – її бічні сторони. Проектування трапеціями менш зручне і менш точне, ніж трикутниками. Складність розв'язання задачі полягає у точному визначенні на плані довжини середньої лінії, оскільки положення її невідоме, якщо невідома висота.

На рисунку 5.3 зображена частина землекористування, в якій потрібно спроектувати площу *P* лінією *MN*, паралельною лінії *DC*. Для цього з точки *F* проводять лінію *FO*, паралельну лінії *FC*, і обчислюють площу *OBCDF*.

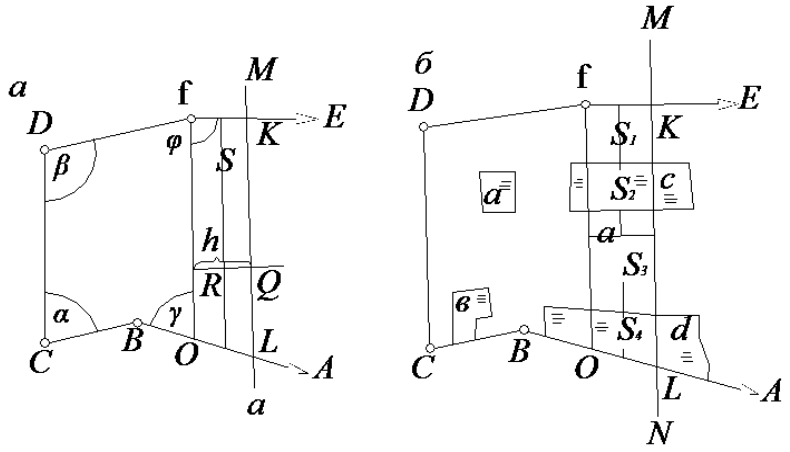


Рис. 5.3. Проектування трапецією

Нехай різниця між проектною площею *P* і площею *OBCDF* дорівнює P_1, причому P_1 і буде площа трапеції, яку потрібно допроектувати. Для цього попередньо визначають довжину середньої лінії *S* за планом, вибравши

положення її на око відповідно до площі P_1, після чого обчислюють попереднє значення висоти за формулою:

$$h_1 = \frac{P_1}{S_1} \tag{5.4}$$

Відклавши половину величини h_1 від лінії *FO* і провівши через одержану точку *R* лінію, паралельну лінії *FO* або *DC*, обчислюють друге наближене значення середньої лінії трапеції S_2; розділивши P_1 одержують друге, точніше значення висоти трапеції h_2.

Його можна вважати остаточним, якщо розбіжність зі значенням висоти h_1 не перевищує величини подвоєної графічної точності, поділеної на відношення середньої лінії до висоти, тобто:

$$0{,}2 \text{ мм} : \frac{S}{h} = \frac{0{,}2 \text{ мм} \times h}{S},$$

в іншому випадку одержують нове значення середньої лінії й третє значення висоти. Розбіжність остаточної довжини середньої лінії з попереднім її значенням не повинні бути більшою від встановленої межі. Маючи остаточне значення висоти, відкладають його на перпендикуляр до лінії *FO* і через одержану точку проводять лінію *MN*, паралельну *DC*.

Похибка визначення висоти *h* може бути знайдена за допомогою диференціювання виразу (5.4), при цьому матимемо формулу:

$$\left(\frac{m\,h}{h}\right)^2 = \left(\frac{m_{P_1}}{P_1}\right)^2 + \left(\frac{m_S}{S}\right)^2, \tag{5.5}$$

аналогічну формулі (5.2).

Якщо площа вважається безпомилковою ($m_{P1} = 0$), то:

$$\frac{m_h}{h} = \frac{m_S}{S},$$

тобто відносна похибка шуканої висоти при цьому способі дорівнює відносній похибці обчислення середньої лінії. Чим менша висота трапеції порівняно із середньою лінією, тим менший кут, утворений бічними сторонами трапеції *FK* і *OL*, тим швидше і точніше одержують значення висоти.

Якщо висота трапеції за величиною дорівнює довжині середньої лінії або більша від неї, то завдання доцільно розв'язувати, інакше, а саме: на око намітити проектну лінію *MN*, визначити площу заздалегідь спроектованої трапеції за двома основами й висотою, взятими з плану, і недостатню або надлишкову площу допроектувати до заданої зазначеним способом.

Із розглянутих прикладів проектування трикутником і трапецією видно, що проектування трикутником точніше, оскільки необхідні дані для

перенесення проекту в натуру одержують шляхом обчислень, тоді як при проектуванні трапецією відрізки *FK* і *BL* треба визначати за планом із загальною похибкою, в яку, крім похибок обчислення висоти *h* входять похибки:

1) відкладання висоти (0,08 мм);

2) проведення проектної лінії *MN* (0,08 мм) і

3) похибки графічного визначення промірів *FK* і *BL*. Щоб уникнути нагромадження такої великої кількості похибок, промірювання *FK* слід визначати за формулою:

$$FK = \frac{h}{\sin \varphi} \quad , \tag{а}$$

в якій кут φ одержують як різницю дирекційних кутів (*DC*) і (*FE*).

Відрізок *BL* обчислюють за формулою:

$$BL = \frac{DF \times \sin\beta - CB \times \sin\alpha + h}{\sin\gamma} \quad , \tag{б}$$

де γ – різниця дирекційних кутів (*BA*) і (*CD*).

Може вийти, що проектна лінія *MN* перетинає контури ситуації (див. рис. 5.3, б). При цьому ділянка повинна бути спроектована таким чином, щоб площі контурів *a*, *b*, *c* і *d* не значилися в проектній площі ділянки, тобто проектна площа ділянки *P* повинна дорівнює площі *BCDFKL* мінус площі контурів *a, b, c* і *d.* У такому разі для розв'язання завдання, як зазначено вище, спочатку намічають на око проектну лінію, обчислюють попередньо спроектовану площу, потім проектують недостатню або надлишкову площу до заданої площі. Проектувати в таких випадках краще трапецією. При ній довжину середньої лінії, очевидно, слід брати не всю, а тільки частину її, що проходить по проектованому угіддю (не враховуючи відрізків S_2 і S_4, що проходять по контурах *c* і *d*. Тоді висота трапеції:

$$h_1 = \frac{P_1}{S_1 + S_3} .$$

Чим звивистіші лінії контурів *c* і *d*, які входять у проектну трапецію, тим більшою похибкою визначиться сума S_1 і S_3, але разом з тим, чим менше висота $S_1 + S_3$, тим точнішим буде її значення.

Проектувати ділянки, що мають форму трапеції, можна не тільки за довжиною середньої лінії, але й за сумою основ (див. рис. 5.3, а), тоді:

$$h_1 = \frac{2P_1}{FO + KL} .$$

У такому разі, спроектувавши ділянку на око за допомогою номограми, визначають за планом суму $FO + KL$ довжин її основ, обчислюють h' і по ній точніше проводять проектовану межу – сторону KL. Визначають за планом її довжину, підсумовують із довжиною другої основи FO й обчислюють остаточне значення висоти h''.

Наведений спосіб зручний тим, що не потрібно наносити на план і визначати довжину середньої лінії. Крім того, при проектуванні попутно одержують довжини паралельних сторін ділянок, які потім необхідно буде надписати на проектному плані. Точність цього способу дещо вища, ніж проектування за середньою лінією трапеції, що видно з порівняння формул (4.18) і (4.19).

Для скорочення обчислень наближених значень h', h'', h''' потрібно в обох випадках ділянки проектувати спочатку за допомогою номограми, тоді h'' буде завжди остаточним.

Одночасно з визначенням висот проектованих ділянок обчислюють розміри їхніх бічних сторін за формулою (а), які необхідні для перенесення проекту в натуру.

Випадок проектування трапецією за сумою основ наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Проектування трапецією за сумою основ

Номер поля	Площа поля, га	Проектується з трапеції, га	$2P$, га	Попереднє значення		b''	$a+b''$	h''	$\sum h$ зліва	Бокові сторони зліва	$\sum h$ зправа	Бокові сторони зправа
				$a+b'$	h'							
I	60,8	№ 1-20,4	–	–	–	975	–	260,0		704,9	260,0	440,5
		З № 2-40,4	80,8	1870	432,0	902	1877	430,5	1160,7			
II	61,2	З № 2-40,6	81,2	–	–	825	1727	470,2		480,1	1280,5	735,6
		З № 3-20,6	41,2	1655	248,9	830	1655	248,9		252,0		133,9
III	61,0	З № 3-10,9	21,8	–	–	835	1655	130,9	939,8		560,0	560,6
		№ 4-50,1	–	–	–	950	–	560,0		698,0		
						$\sum h = 2100,5$			2100,5		2100,5	

5.5. Окремі випадки проектування ділянок графічним способом

Поля, присадибні та інші ділянки, що мають довгі паралельні сторони, при застосуванні графічного способу проектують, як правило, трапеціями. В окремому випадку, коли гін, або квартал, має форму прямокутника (рис. 5.4, а), ширину ділянок одержують пропорційно до їхніх площам, і проектування здійснюють розрахунковим шляхом.

Проектування ділянок трапеціями, коли гін, або квартал, має також форму трапеції (рис. 5.4, б), може бути проведене за способом, зазначеним у попередньому підрозділі. При цьому кожну ділянку проектують самостійно.

Для цього задану площу кожної проектованої ділянки ділять на свою середню лінію чи подвійну задану площу ділять на суму основ трапеції.

У результаті проектування одержують висоти окремих трапецій h_1, h_2, h_3, . . ., Які відкладають за лінією *EF* від точки *E* послідовно h_1, $h_1 + h_2$, $h_1 + h_2 + h_3$ і т. д., й після проектування останньої ділянки сума висот повинна дорівнювати лінії *EF*. Унаслідок нагромадження похибок зазначеної рівності не одержують. Чим більша кількість проектованих ділянок і чим більший кут, що утворюється лініями *AD* і *BC*, тим ця нев'язка буде значнішою.

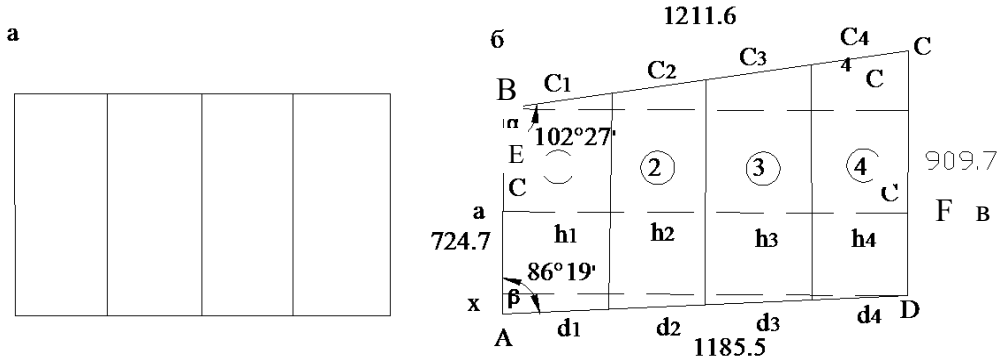


Рис. 5.4. Проектування ділянок графічним способом

Якщо ділянок 8–10, кут, утворений продовженням ліній *BC* і *AE*), менший 30°, а відношення довжини ділянок до ширини добігає 5, то розбіжність у сумі висот h_1 h_2 h_3. . . із загальною висотою *EF* не перевищить розмірів потроєної графічної точності (0,3 мм на плані).

Для перенесення проекту в натуру на лініях *BC* і *AD* потрібно мати проміри c_1, c_2, c_3, . . ., d_1, d_2, d_3, . . ., які обчислюють у залежності від суми висот Σh.

Із подібності трикутників випливає, що:

$$\frac{c_1}{h_1} = \frac{BC}{\sum h},$$

звідки:

$$c_1 = \frac{BC}{\sum h} h_1 , \qquad (5.6)$$

або для роботи з логарифмічною лінійкою:

$$c_1 = h_1 + \frac{BC - \sum h}{\sum h} h_1.$$

Так само:

$$c_2 = \frac{BC}{\sum h} h_2,$$

або

$$c_2 = h_2 + \frac{BC - \sum h}{\sum h} h_2;$$

$$d_1 = \frac{AD}{\sum h} h_1 = h_1 + \frac{AD - \sum h}{\sum h} h_1;$$

$$d_2 = \frac{AD}{\sum h} h_2 = h_2 + \frac{AD - \sum h}{\sum h} h_2.$$

Обчислюючи c_1, c_2, . . ., d_1, d_2, ..., механічно розподіляється нев'язка у сумі висот. Якщо відомі кути α і β при основі, то c_1, c_2, . . ., d_1, d_2, , можна визначити за формулами, попередньо узявши висоти за спільною висотою всієї трапеції. Тоді:

$$c_1 = \frac{h_1}{\sin\alpha}, \quad c_2 = \frac{h_2}{\sin\alpha} \ldots,$$

$$d_1 = \frac{h_1}{\sin\beta}, \quad d_2 = \frac{h_2}{\sin\beta} \ldots$$

Обчислення виконують у відомості (табл. 5.3). Проектування виконано на плані масштабу 1:10 000.

Таблиця 5.3 – ***Розподіл нев'язки у сумі висот, м***

Номер ділянки	Площа ділянки, га	Попередні		Середня лінія s''	Висота h''	Сума висот	Бічні сторони	
		середня лінія s'	висота h'				c	d
1	24,17	753	321	750	322	332	330,1	323,0
2	24,17	799	302	801	302	624	309,6	302,9
3	24,17	848	285	846	286	910	293,1	286 8
4	24,17	887	273	888	272	1182	278,8	272,8
					1182		1211,6	1185,5

Окремі величини при обчисленні мають такі значення:

$$\frac{BC}{\sum h} = \frac{1211,6}{1182} = 1,025; \quad \frac{AD}{\sum h} = \frac{1185,5}{1182} = 1,002;$$

$$\frac{BC - \sum h}{\sum h} = \frac{29,6}{1182} = 0,0250; \frac{AD - \sum h}{\sum h} = \frac{3,5}{1182} = 0,0296.$$

Усі обчислення (крім дій додавання) можна виконувати за допомогою логарифмічної лінійки, якщо лінійні величини виражаються не більш як трьома значущими цифрами.

Графічне проектування ділянок у багатокутних фігурах починають із попереднього визначення площ елементарних трапецій, на які розбивають такі фігури (рис. 5.5).

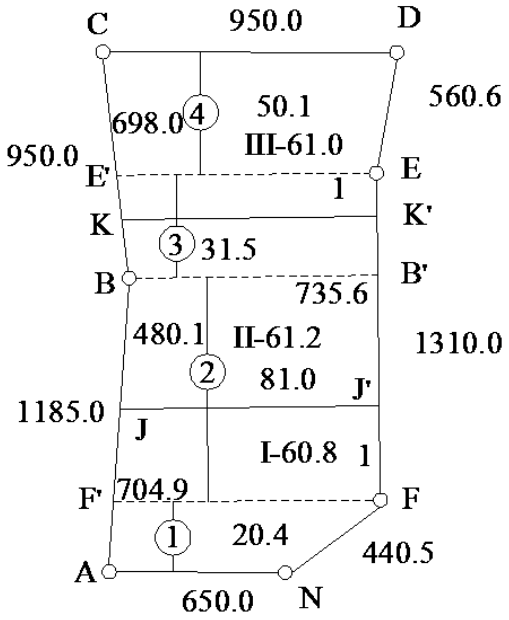


Рис. 5.5. Графічне проектування ділянок

Нехай багатокутник *ABCDEFN* складається з чотирьох трапецій. Площа першої трапеції становить 20,4 га, другої – 81 га, третьої – 31,5 га, четвертої – 50,1 га, а вся площа – 183 га. Нехай у ньому потрібно розмістити три поля площею 60,8; 61,2 і 61 га. Після визначення площ зазначених трапецій проектування полів зводиться до проектування відсутніх площ з цих трапецій. Потім обчислюють бічні сторони запроектованих полів.

Проектування недостатніх площ, що мають форму трапеції, у такому разі здійснено за сумою основ.

Значною особливістю відрізняється обчислення бічних сторін запроектованих полів. У деяких із них бічні сторони складаються з двох відрізків – частин різних трапецій. Тому при визначенні бічних сторін обчислюють окремо суми висот *h*, які відносяться до різних граничних ліній полігона: зліва Σ*h* і праворуч Σ*h* (див. рис. 5.5 і табл. 5.3). Трапеції, що спираються на лінію *AB* = 1185,0 м, мають суму висот 1160,7 м. Це дає можливість обчислити бічні стороні полів:

$$AJ = \frac{AB}{\sum h_{1+2}} h_{л\,I} = \frac{1185,0}{1160,7}\left(260,0 + 430,0\right) = 704,9 \text{ м};$$

$$JB = \frac{AB}{\sum h_{1+2}} h_{л\,II} = \frac{1185,0}{1160,7} 470,2 = 480,1 \text{ м}.$$

Контроль:

$$AJ + JB = AB = 704,9 + 480,1 = 1185,0 \text{ м};$$

$$FJ' = \frac{EF}{\sum h_{2+3}} h_{n\,I} = \frac{1310{,}0}{1280{,}5} 430{,}5 = 440{,}5 \text{ м};$$

$$J'K' = \frac{EF}{\sum h_{2+3}} h_{n\,II} = \frac{1310{,}0}{1280{,}5} (470{,}2 + 248{,}9) = 735{,}6 \text{ м};$$

$$K'E' = \frac{EF}{\sum h_{2+3}} h_{n\,III} = \frac{1310{,}0}{1280{,}5} 130{,}9 = 133{,}9 \text{ м}.$$

Контроль:

$$FJ' + J'K' + K'E = FE = 440{,}5 + 735{,}6 + 133{,}9 = 1310{,}0 \text{ м}.$$

Так же само обчислюють бічні сторони полів по лінії ВС.

5.6. Проектування ділянок механічним способом

Графічний і аналітичний способи проектування зручні лише в тому разі, якщо гони й ділянки мають невелику кількість поворотів і проектування не потребує значних затрат часу на проведення обчислень. При великій зламаності контурів землекористувань використання планіметра робить процес проектування простішим та ефективнішим, у результаті чого механічний спосіб проектування ділянок за допомогою планіметра став найпоширенішим, а для багатьох районів України він видався навіть єдиним. Але ділянки не проектують тільки планіметром, тому що планіметр – це прилад, який за заданою площею й одним лінійним вимірюванням не дає можливості визначити інший лінійний вимір. Ця обставина викликає необхідність виконувати проектування послідовними наближеннями доти, доки величина недостатньої площі до заданої проектної або надлишкової проти проектної площі не будуть перевищувати величини допустимої похибки обчислення площі.

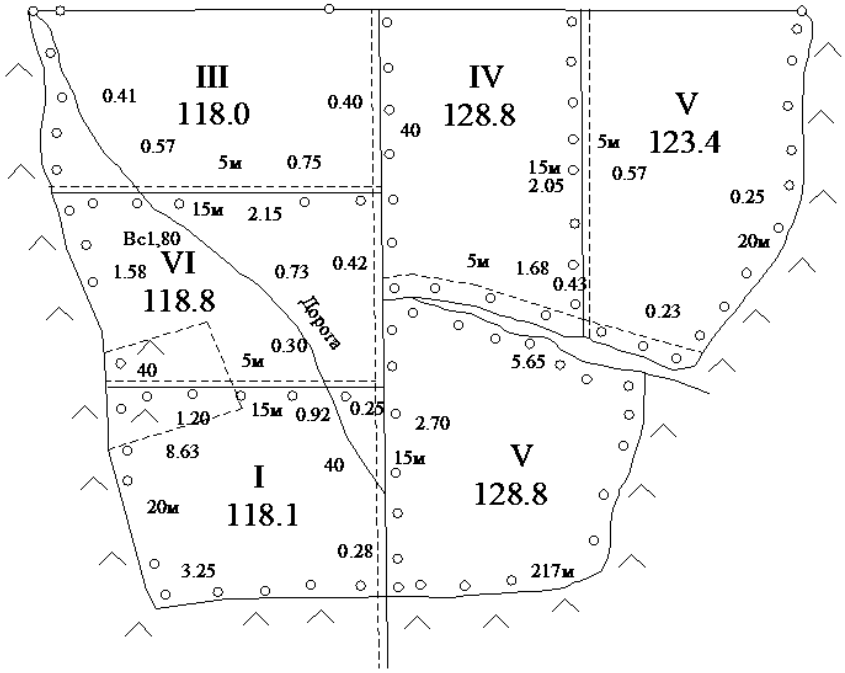
Щоб уникнути значної кількості наближень, проектування механічним способом застосовують у комбінації з графічним, тобто планіметром обчислюють площу ділянки, запроектованої на око, а недостатню або надлишкову площу проектують графічно трикутником або трапецією залежно від умов проектування (див. рис. 5.2 і 5.3) чи за допомогою номограми.

У такому разі похибка проектування ділянки складатиметься з похибки обчислення попередньо спроектованої планіметром площі та похибки проектування недостатньої або надлишкової площі графічним або іншим способом. Однак точність визначення площі планіметром менша, ніж графічним способом. Похибки проектування недостатніх або надлишкових площ вносять малу частку в загальну похибку проектованої площі. Тому похибки проектування ділянок планіметром можна вважати приблизно такими ж самими, як і похибки обчислення площ планіметром.

В умовах дрібноконтурних ситуацій площі окремих контурів часто бувають меншими від площ проектованих ділянок (полів сівозмін). У такому разі проектована ділянка може складатися з кількох контурів і проектування полів зводиться до набору контурів, щоб одержати потрібну площу поля. При цьому більші контури ріллі іноді будуть розділені межами полів.

Якщо застосовують механічний спосіб проектування, раніше обчислені площі контурів не змінюють. Тому площі частин контурів, розділених проектною межею, пов’язують у площі цього контуру.

На рисунку 5.6 показано, що на західному відокремленому масиві ріллі розміщено три поля сівозміни. Площа цього масиву складається з декількох контурів різних угідь, які включаються в ріллю: 174,5 га на північний захід від дороги і 167,5 га на північний схід від дороги – м’яка рілля, 25,3 гам – пасовище і 1, 8 га – дорога, освоювана у ріллю. Всього в трьох полях 369,1 га.



5.6. Проектування ділянок механічним способом

Частину вказаної площі займуть лісосмуги та дороги. Тому для проектування потрібно обчислювати загальні (сумарні) площі полів. Це зручно зробити за таблицею 5.4, попередньо намітивши межі полів на плані.

Спочатку за таблицею 5.5 визначають усі дані верхнього рядка – загальну площу масиву (369,1 га) із запроектованими на ньому дорогами, лісосмугами та ін. Це дає можливість виявити використовувану площу (354,1 га) і встановити площі полів й інших ділянок (118,1 га, 118,0 га та ін.)

До використовуваної площі полів додають площі інших земель, що входять у межі полів, й одержують загальні площі для остаточного проектування. Потім обчислюють площі полів у намічених раніше межах і пов’язують їх у загальній площі масиву (369,1 га).

Площі визначають за допомогою добре вивіреного планіметра дворазовим обводом. Допустиме розходження суми площ проектованих ділянок із сумою раніше обчислених площ можна встановити виходячи із формули (4.30). У ній відображено вплив усіх похибок й особливо похибки визначення ціни поділки планіметра. Враховуючи, що між обчисленням площ контурів і проектуванням ділянок нерідко минає багато часу, внаслідок чого ці два види робіт виконують різними планіметрами з неоднаковою ціною поділки, значення нев'язки, яку обчислюють за формулою (4.30), можна збільшити в два рази або допустиме розходження в сумі площ ділянок при проектуванні з сумою площ контурів визначити за формулою:

$$f_{P_{га}} = 0{,}7\, p_{га} \sqrt{n_k + n_{уg}} + 0{,}07 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{га}}\,, \qquad (5.7)$$

тут $p_{га}$ – ціна поділки планіметра (можна взяти прийняту для проектування); n_k – кількість контурів; $n_{уч}$ – число ділянок; M – знаменник чисельного масштабу плану; $P_{га}$ – сума площ проектованих ділянок.

Таблиця 5.5 – ***Проектування ділянок (І варіант)***

Планіметр № р = 0,09578

Номер поля	Дані загальної площі полів, га	Відліки за лічильним роликом	Різниця відліків	Середнє з різниць	Площі, га	Ув'язані площі, га	Недостатня або надлишкова площа, га	Обчислення при проектуванні недостатньої або надлишкової площі, га	Примітка
I	58,2 3,5 0,7 62,4	0855 1507 2347 3000	652 653	652,5	+9 62,50	62,59	-0,19	h = 1900:917 = 2,1 м	Вкл. ліс 3,5 га і дорогу 0,7 га
II	58,3	4125 4703 1219 1797	578 578	578	+9 55,36	55,45	-0,19 +2,85 +2,66	h = 26 600/1013 = 26,2 м	
III	58,2	1423 2024 3215 3814	601 599	600	+8 54,47	57,55	+2,66 +0,65 3,31	h = 33100/ 1083 = 30,6 м	
V	58,3	8919 9542 3428 4052	623 624	623,5	+9 59,67	59,76	+3,31 -1,46 +1,85	h =18500/ 1121 = 16,5 м	
V	58,2	0012 0638 9123 9749	626 626	626	+9 9,96	60,05	+1,85 -1,85 0		
		Всього		294,96	295,4				

Повинно бути 294,4
Нев'язка -0,44
Допустима нев'язка – 1,4 (об за формулою (5.7)

Таблиця 5.5 – ***Проектування ділянок (II варіант)***

Номер поля та ділянки	Площа, яку використовують, га			Понад те у межах ділянок, га					Уся площа поля і ділянки, га	Примітка
	усього	у тому числі		Проектується			існуючих угідь	усього		
		освоєна за рахунок	рілля	доріг за рахунок	лісосмуг за рахунок	інші угіддя				
1, II, III	354,1	Пасо-вищ 23,6 Доріг 1,60	328,9	Ріллі 2,54 Пасо-вищ 0,20	Ріллі 9,36 Пасовищ 1,50	Заліс-нення 1,20	Доріг 0,20	15,0	369,10	Загальна площа склада-ється з контурів № 5, 6, 7 та дороги
I	118,1	Пасо-вищ 8,60 Доріг 0,30	109,2	Ріллі 0,26	Ріллі 4,17 Пасовищ 1,20	Заліс-нення 1,20	Доріг 0,20	7,03	125,13	
II	118,0	Пасо-вищ 15,00 Доріг 0,73	102,27	Ріллі 0,72 Пасо-вищ 0,20	Ріллі 3,65 Пасо-вищ 0,30	–	–	4,87	122,87	
III	118,0	Доріг 0,57	117,43	Ріллі 1,56	Ріллі 1,54	–	–	3,10	121,10	

Нерідко ділянки проектують на копіях із планів того чи іншого виду знімання. Якщо копія складена фотомеханічним способом, то розбіжність у сумі площ контурів і ділянок можна обчислювати за формулою (5.7). Якщо ж копія складена одним із графічних способів, площі контурів визначені на оригіналі, а проектування ділянок зображено на копії то на цю розбіжність впливатимуть похибки копіювання, враховані за формулами (2.2) – (2.4), внаслідок чого для цього випадку у формулі (5.7) по других членах замість 0,07 можна прийняти 0,09.

Після визначення площ ділянок та одержання допустимої розбіжності площі ділянок пов'язують у сумі площ контурів, порівнюють ув'язаність площі ділянок (полів) з заданими (розрахунковими), шляхом проектування використовуваних і надлишкових площ графічним способом приводять розташування меж у відповідність із заданими площами ділянок (полів).

При попередньому розміщенні ділянок, обчисленні їхніх площ, проектуванні недостатніх або надлишкових площ тощо, складають схему (див. рис. 5.6) у зошиті проектування, в якій чітко вказують номери і площі

ділянок, розділених контурів, доріг, лісосмуг, їхню ширину, розміри сторін ділянок, відстані від опорних точок та ін. Якщо на одній схемі навантаження надписів ускладнює її читання, то складають додаткові схеми в більшому масштабі з необхідними надписами. Схеми й надписи повинні бути виконані так, щоб у них без зусиль міг розібратися інший виконавець. Чіткість і точність складання схем та надписів забезпечать правильність складання експлікацій і робочого креслення для перенесення проекту в натуру.

Ділянки можна проектувати за допомогою таблиці 5.4, яку іноді об'єднують із таблицею 5.5.

5.7. Особливості проектування полів в умовах дрібноконтурності

У ряді областей нечорноземної смуги, в яких територія сільськогосподарських підприємств характеризується наявністю великої кількості дрібних контурів ріллі, роз'єднаних у такій же самій мірі дрібними контурами сіножатей, лісів, боліт тощо (рис. 5.7), ділянки проектують методом, який називається набір контурів.

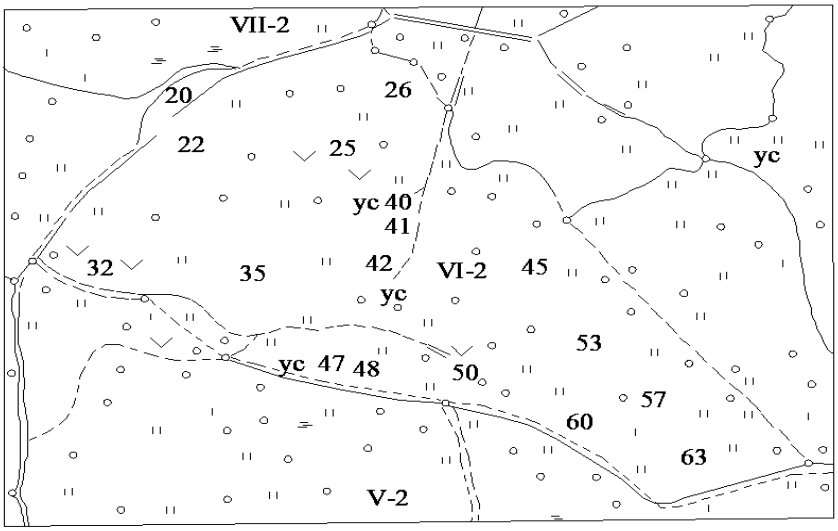


Рис. 5.7. Проектування ділянок методом наборів контурів

У такому разі замість поділу великих масивів ріллі на ділянки (поля сівозміни), як це роблять у степових і лісостепових районах, проектовані поля сівозмін складають з окремих дрібних контурів ріллі, як правило, не розділених проектними межами. При цьому не виникає необхідності в обчисленні, пов'язаному з визначенням положення проектних ліній, і проектуванні недостатніх або надлишкових площ до заданої площі.

Контури проектованого угіддя можуть розділятися на частини лише у випадках, коли:

1) при проектуванні виробничих центрів потрібно виділити ділянку певної площі для ферми, бригадного двору та ін.;

2) серед дрібних контурів угідь, які проектують, трапляється великий контур і необхідність одержання ділянки нормального розміру і форми потребує поділу цього контуру на частини;

3) в одному контурі спостерігається більша різниця в якості ґрунту;

4) виникає необхідність трансформації частини контуру в інший вид угіддя.

Разом із тим проектувальник прагне до того, щоб дрібні контури одного й того ж угіддя об'єднати у великі ділянки і цим забезпечити сприятливіші умови для використання машинної техніки. Для цього вивчають можливості переведення одних угідь в інші, тобто трансформувати угідь. Однак трансформація не завжди можлива, тому в результаті набору контурів межі ділянок не будуть прямими лініями, що розділяють орні угіддя, а сполучатимуться з контурами існуючих угідь (див. рис. 5.7). Якщо ж межі проходять по сіножаті, лісі, болоту тощо, їх вважають умовними.

Після утворення ділянки проектованого угіддя проводять його межу, яка місцями проходить по контуру проектного угіддя і є твердою, а місцями перетинає інші угіддя та є умовною (на рис. 5.7 тверда межа показана жирною суцільною лінією, а умовна – жирною переривчастою лінією). Форма меж проектних ділянок може бути будь-якою, але проектувальник старається, щоб межі не були дуже звивистими. Позначення умовних меж на плані робить його більш зрозумілим, забезпечує добру читаність і дає змогу за кресленням легко визначати, які контури ріллі входять у певне поле.

Знаки (стовпи), що закріплюють межі ділянок, у такому разі встановлюють на видних місцях, на поворотах твердих меж і контурах угідь, поділених умовними межами.

При проектуванні набором контурів велике значення має відомість проектування, складена належним чином. У ній можуть бути відсутні графи, в яких зазвичай записують лінійні розміри для обчислення площ, відліки за роликом планіметра тощо, оскільки площі контурів, які набирають, проектовані угіддя, вже визначені раніше.

У відомості проектування не повинно бути граф для нетрансформованих у ріллю угідь, бо ділянки проектують не за загальною їхньою площею, а за площею проектного угіддя. Відомості ув'язування площ контурів інших угідь, поділених умовними межами, складають окремо і додають до відомості проектування. У таблиці 5.6 наведено відомість проектування поля VI одного з сільськогосподарських підприємств, зображеного на рисунку 5.7. Із таблиці видно, що після граф проектованого земельного угіддя слідують графи для трансформованих угідь.

Приблизно такі ж відомості складають при проектуванні сіножатних пасовищних та інших угідь. Кількість граф проектного угіддя, як правило, має відповідати кількість підграф цього угіддя, наявних в основній експлікації, тобто в експлікації, складеної при розробці проекту.

Створити універсальну відомість, придатну для проектування кожного виду угіддя, неможливо, тим більше, що в окремих областях і районах є свої особливості розв'язання цього питання.

Щоб переконатися, чи не допущено грубих помилок, чи не пропущені й не переплутані контури у виконаній роботі, складають зведену відомість проектування (баланс території, таблицю трансформації).

Таблиця 5.6 – ***Відомість проектування полів польової дев'ятипільної сівозміни бригади № 2***

Назва ділянки за проектом	Номер контурів на кальці	Площа, га	У тому числі			
			ріллю		трансформовані у ріллю	
			Не потребуючі меліорації	Засмічена камінням	поклади	присадибні ділянки
Поле VI	20	0,44	0,44	–	–	–
	21	0,36	-	–	–	0,36
	22	2,23	2,23	–	–	–
	25	2,20	-	–	2,20	–
	26	3,07	3,07	–	–	–
	32	2,73	-	–	2,73	–
	35	6,45	6,45	–	–	–
	40	0,47	-	–	–	0,47
	41	2,42	2,42	–	–	–
	42	0,43	-	–	–	0,43
	45	2,98	2,98	–	–	–
	47	0,46	-	–	–	0,46
	48	1,92	1,92	–	–	–
	50	1,04	-	–	1,04	–
	53	210	2,10	–	–	–
	57	0,42	-	0,42	–	–
	60	1,22	-	1,22	–	–
	63	1,95	-	1,95	–	–
Усього		32,89	21,61	3,59	5,97	1,72

5.8. Прийоми проектування ділянок аналітичним способом

Проектувати аналітичним способом можна до складання плану (за схематичним кресленням, на якому визначені кути і лінії), користуючись відомістю координат для обчислення площ. Разом з тим, проектування на проектному плані дає можливість перевіряти за ним значення кутів між лініями, довжини ліній і дирекційних кутів, які утворюються в процесі обчислень.

Ділянки проектують в один прийом здійснюють лише у разі, якщо вона мають форму трикутника або чотирикутника. В усіх інших випадках аналітичним способом обчислюють площу попередньо наміченої ділянки, після чого проектують недостатню або надлишкову площу до заданої (проектної) площі.

При проектуванні аналітичним способом усі величини площ, а також створи сторін (*ab, ab* sinα*,* α_2 і тощо.) виражають у квадратних метрах, округлюючи їх до цілих одиниць.

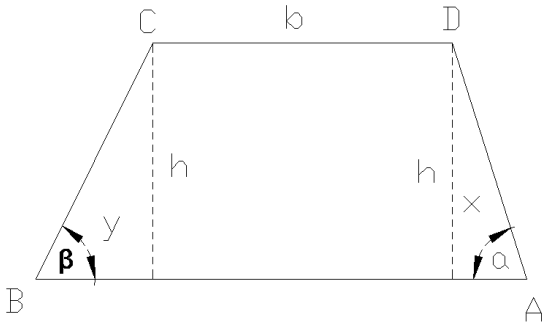


Рис. 5.8. Проектування угідь за допомогою трапеції

Обчислення можуть бути виконані логарифмічним способом, але за наявності обчислювальної машини перевагу віддають нелогарифмічному способу. Особливу увагу при цьому звертають на знаки тригонометричних функцій.

При аналітичному проектуванні дуже часто доводиться розв'язувати прямі й зворотні геодезичні задачі, а також визначати координати точок перетину двох прямих, координати кінців яких та їхні дирекційні кути

Нижче наводяться окремі випадки проектування аналітичним способом, до яких можна віднести більшість випадків, що трапляється у практиці.

І. На ділянці (див. рис. 5.4, б) площею 96,68 га запроектували чотири ділянки площею *P* 24,17 га лініями, паралельними лініям *AB*. Оскільки кожна ділянка має форму трапеції, то виведемо формули площі трапеції за двома основами та кутами біля основи (рис. 5.8).

Відомо, що:

$$2P = (a+b)h \ . \qquad \text{(а)}$$

Крім того, із рисунка 5.8 видно, що:

$$x = h\operatorname{ctg}\alpha \ \text{ і } \ y = h\operatorname{ctg}\beta,$$

тому

$$x + y = h(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta),$$

але

$$x + y = a - b,$$

тоді

$$h = \frac{x+y}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} = \frac{a-b}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} \ . \qquad (5.8)$$

Підставивши (5.8) у (а), отримаємо

$$2P = \frac{a^2 + b^2}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta} \ . \tag{5.9}$$

Однак при проектуванні необхідно знайти другу основу трапеції *b*, знаючи першу основу *a* та кути біля першої основи *a* і β, у результаті чого з формули (5.9) одержимо:

$$b = \sqrt{a^2 - 2P\left(\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta\right)} \ . \tag{5.10}$$

Після одержання другої основи, обчислюють бокові сторони трапеції, необхідні для перенесення проекту в натуру. Для цього попередньо визначають висоту трапеції з (а)

$$h = \frac{2P}{a + b} \ , \tag{5.11}$$

після чого одержують бокові сторони трапеції:

$$AD = \frac{h}{\sin\alpha} \quad \text{і} \quad BC = \frac{h}{\sin\beta} \ . \tag{5.12}$$

Для прямокутної трапеції, якщо, наприклад, ß = 90° згідно з (5.9) матимемо:

$$2P = \frac{a^2 - b^2}{\operatorname{ctg}\alpha},$$

$$b = \sqrt{a^2 - 2P\operatorname{ctg}\alpha} \ , \tag{5.13}$$

$$h = \frac{2P}{a + b} \ , \qquad AD = \frac{h}{\sin\alpha}, \qquad BC = h.$$

Проектування здійснюють згідно з формулами (5.10) – (5.12) за схемою.

Таблиця 5.7 – ***Проектування ділянок аналітичним способом***

MS рядків і порядок розв'язання	Формули	Номер ділянок				Контроль
		1	2	3	4	
$2=\frac{1}{3}(1)^2$	A a^2 $-A$	724,7 525 190 +75 604	775,1 600 794 +75 604	822,4 676 398 +75604	867,2 752 002 +75 604	
$4=(2)+(3)$	a^2-A	600 794	676 398	752 002	827 606	
$5=\sqrt{(4)}$	$a=\sqrt{a^2-A}$	775,1	822,4	867,2	909,7	909,7 = CD
$6=(1)+(5)$	$a+b$	1499,8	1597,5	1689,6	1776,9	1211,5 = BC
$7=\frac{2P}{(6)}$	$h=\frac{2P}{a+b}$	322,3	302,6	286,1	272,0	
$8=\frac{(7)}{\sin\alpha}$	$c=\frac{h}{\sin\alpha}$	330,1	309,9	293,0	278,5	1185,5 = AD
$9=\frac{(7)}{\sin\beta}$	$d=\frac{h}{\sin\beta}$	323,0	303,2	286,7	272,6	
Спільні члени						
α = 102°27' β = 86°19'	cigα cigβ	–0,22 078 +0,06 438	P $2P$	24,17 га 483 400	sinα sinβ	0,97 648 0,99 793
	ctgα+ +ctgβ	–0,15 640	A = $2P$(ctgα+ +ctgβ)	–75 604	1:sinα 1:sinβ	1,02 408 1,00 207

Порядок обчислень за наведеною схемою приймають такий.

Спочатку виписують й обчислюють загальні члени, після чого, вписавши значення а для ділянки № 1, роблять всі обчислення в рядках 2, 3 і 4 послідовно для всіх ділянок. Одержавши значення $a^2 - A$ для останньої ділянки (827 606), добувають із нього квадратний корінь й одержують значення b (909,7), яке звіряють із результатом вимірювання лінії CD. Розбіжність не повинна виходити за межі подвійної похибки визначення цієї лінії. Якщо вказаної лінії не вимірювали, а обчислювали за іншим елементом трапеції – кутами і сторонами, то ця розбіжність не повинна бути більшою двох одиниць останньої значущої цифри.

Переконавшись у правильності зазначених обчислень, виконують обчислення в рядках 5, 6, 1, далі – у рядку 7 і 8, потім – 9, встановивши на клавішах калькулятора відповідні значення 1: sinα й 1: sinβ.

Контролем обчислень слугують рівняння:

$$c_1 + c_2 + \ldots + c_n = BC,$$

$$d_1 + d_2 + \ldots + d_n = AD.$$

Розбіжності можуть бути в межах двох одиниць останньої значущої цифри.

На рисунку 5.9 зображена частина землекористування, на прикладі проектування якої можна розв'язання. У таблиці 5.8 наведено координатну відомість на цю частину землекористування.

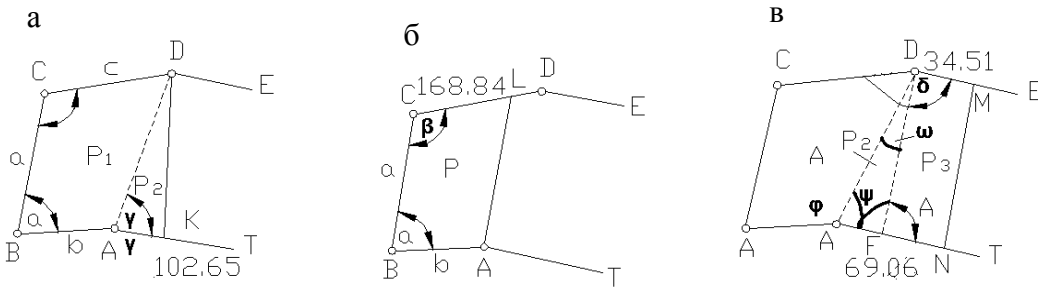


Рис. 5.9. Частина землекористування

Таблиця 5.8 – ***Координатна відомість на частину землекористування***

Назва точок	Ув'язані кути	Дирекційні кути	Горизонтальне прокладення	Приріст координат		Координати	
				Δx	Δy	X	Y
Т						+13 301,07	– 6 793,78
А	206° 13'	287°13'	512,7	+151,76	- 489,73	+13 452,83	– 7 283,51
В	71 05	261 00	285,4	- 44,64	- 281,90	+13 408,19	– 7 565,41
С	120 03	9 55	462,1	+455,19	+79,57	+13 863,38	– 7 485,84
Д	159 19	69 52	441,3	+151,89	+414,34	+14 015,27	– 7 071,50
Е		90 33	308,5	-2,96	+308,48	+14 012,31	– 6 763,02

I. На ділянці (див. рис. 5.9, а) потрібно запроектувати площу $P = =19{,}36$ га лінією, що проходить через точку D. У такому разі площа $ABCD = P_1 < P$.

II. Визначають площу фігури $ABCD = P_1$ за формулою (4.9) або (4.10), використовуючи координатну відомість.

Суму значень можна одержати на результативному калькуляторі, не скидаючи результатів після кожного перемноження.

Недостатня площа тоді дорівнює:

$$P = 19{,}36;$$

$$\frac{P_1 = -16{,}28}{P_2 = 3{,}08 \text{ га}}.$$

Цю площу проектують трикутником. Визначають довжину та напрямок лінії AD за координатами точок A і D за формулами:

$$\operatorname{tg}(AD) = \frac{y_D - y_A}{x_D - x_A}, \quad d = \frac{y_D - y_A}{\sin(AD)} = \frac{x_D - x_A}{\cos(AD)}.$$

Y_D	-7071,50	x_D		+14015,27	
Y_A	-7283,51	x_A		+13452,83	
$Y_D - Y_A$	+212,01	$x_D - x_A$		+562,44	
$\operatorname{tg}(AD) = \dfrac{Y_D - Y_A}{x_D - x_A}$	0,37695	$\dfrac{Y_D - Y_A}{\sin(AD)}$	+212,01 +0,35271	$\dfrac{x_D - x_A}{\cos(AD)}$	+562,44 +0,93573
Румб CB:20°39,2′		AD	601,09	AD	601,07
Дирекційний кут 20°39,2′		$AD_{ср}$	601,08		

Кут TAD (γ) дорівнює різниці дирекційних кутів:

$$(AT) - (AD) = 107°13' - 20°39' = 86°34'.$$

Довжину, обчислюють лінії відповідно до формули (4.7), кут $AD\sin\gamma$ – висота трикутника ADK з основою AK.

Одержану відстань AK відкладають від точки A у напрямку на точку T; K – проектна точка, KD – проектна лінія, а $KABCD$ – запроектована площа.

Якби P_1 було більше від P, то, очевидно, трикутник KAD розташувався б вліво від лінії AD і задачу треба було б розв'язувати, як у випадку III (див. далі).

Якщо площа трикутника KAD дуже мала й основа AK у багато разів менша від висоти, то недостатню площу можна спроектувати графічним способом, як зазначено раніше.

III. На ділянці, що має форму чотирикутника (див. рис. 5.9, б), необхідно запроектувати площу P = 10,08 га лінією, яка проходить через точку A. В даному випадку площа чотирикутника $ABCD = P_1 > P$.

Рішення задачі зводиться до обчислення довжини лінії CL (яка потрібна для перенесення проекту в натуру). Використовувати формулу (4.9), одержати:

$$CL = \frac{2P - ab\sin\alpha}{a\sin\beta + b\sin(\alpha + \beta - 180°)} = \frac{\sum_1}{\sum_2}.$$

1 4	α b	71°05 285, 4	2 3	$\sin(a + \beta^{\beta} - 180°) =$ $= \sin 11°08'$	120°03 0,19 309
5	a	462, 1	7	$\sin\beta$	0,86 559
6 8	$\sin\alpha$ $a\sin\alpha$	0,94 599 437, 14	11 9	$b\sin(a + \beta - 180°)$ $a\sin\beta$	+ 55, 11 + 399, 99
12 10	$-2P$ $ab\sin\alpha$	201 600 124 760	14	$\sum 2$	455, 10
13	$\sum 1$	76 840	15	$CL = \dfrac{\sum 1}{\sum 2}$	168, 84 м

IV. На ділянці (див. рис. 5.9, в) потрібно запроектувати площу P =19,36 га лінією, перпендикулярною до лінії AT (або лінією, паралельною заданому напрямку).

У цьому випадку площа $P > P_1$.

1. Визначають площу фігури:

$ABCD = P_1$ = 16,28 га (див. завдання II).

2. Обчислюють довжину і напрямок лінії:

AD = 601,08 м; (AD) = 20° 39' (див. завдання II).

3. Обчислюють кути в трикутнику ADF за різницею дирекційних кутів:

$$\varphi = (AT) - (AD) = 107°13' - 20°39' = 86°34';$$

$$\omega = (DA) - (DE) = 200°39' - 197°13' = 3°26';$$

$$\psi = (FD) - (FA) = 17°13' - 287°13' = 90°00' \quad 180°00'.$$

Кут ψ можна було б не визначення, оскільки за умовою він дорівнює 90°; у залежності від цього залежить напрямок:

$$(FD) = (TA) + 90° = 287°\ 13' + 90° = 17°\ 13', \text{ а};$$

$$(DF) = 287°\ 13' - 90° = 197°\ 13'.$$

4. За обрахованими кутами трикутника ADF та лінії AD обраховують довжину ліній AF и FD та площу цього трикутника:

$$AF = \frac{AD}{\sin\psi}\sin\omega, \quad FD = \frac{AD}{\sin\psi}\sin\varphi, \quad 2P_2 = AF \cdot FD \cdot \sin\psi.$$

При ψ = 90° будемо мати:

$$AF = AD \cdot \cos\varphi;\ FD = AD \cdot \sin\varphi;\ 2P_3 = AF \cdot FD.$$

AD	601,08	$AD : \sin\psi$	601,08	$AD : \sin\psi$	601,08	$AF \cdot FD$	21 600
$\sin\psi$	1,00000	$\sin\omega$	0,05989	$\sin\psi$	0,99821	$\sin\psi$	1,00000
$AD : \sin\psi$	601,08	AF	600,00	FD	600,00	$2P_3$	21600

$P_2 = 1{,}08$ га

Залишається запроектувати $P - P_1 - P_2 = P_3$ = 19,36 – 16,28 – 1,08 = = 2,00 га.

5. Проектна площа P_3 повинна мати форму трапеції. У подальшому розв'язання задачі необхідно запроектувати цю трапецію й обчислити лінії

DM та *FN* (*AN* = *AF* + *FN*), які потрібно перенести в натуру. Але, щоб їх одержати необхідно визначені кути повороту цієї трапеції:

$$\Delta = \{DF) - \{DE) = 197° 13' - 90° 33' = 106° 40',$$

$$\sigma = \{AT) - (FD) = 107° 13' - 17° 13' = 90° 00'.$$

6. Далі задачу розв'язання проектуванням трапеції площею P_3, як у випадку I, і завершуються обчислення проектних відрізків: *DM* = 34,51 м та *AN* = 69,06 м.

Цю задачу можна розв'язання дещо інакше, а саме (табл. 5.9):

1. Знайти координати точок перетину лінії *AT* з лінією *DF*, дирекційні кути яких: (*AT*) = 107° 13' и (*DF*) = 197° 13'.

Обчислення координат точки перетину *F*, а також вимірювання довжини *AF* та *DF* іноді визначають за формулами:

$$\Delta x_{AF} = \frac{(y_D - y_A) - (x_D - x_A)\mathrm{tg}(DF)}{\mathrm{tg}(AT) - \mathrm{tg}(DF)}; \quad \Delta y_{AF} = \Delta x_{AF}\, tg(AT);$$

$$x_F = x_A + \Delta x_{AF}; \quad y_F = y_A + \Delta y_{AF}; \qquad (5.14)$$

$$AF = \frac{\Delta x_{AF}}{\cos(AT)} = \frac{\Delta y_{AF}}{\sin(AT)}; \quad DF = \frac{x_F - x_D}{\cos(DF)} = \frac{y_F - y_D}{\sin(DF)}.$$

2. Обчислити площу *ABCDF* за координатами:

$2P_1 = 347\ 208{,}87$ м^2

$2P_1 = 99999\ 652\ 791{,}13\ (контроль)$

Плюща дорівнює 19,36

−17,36

$P_3 = 2{,}00$ *га.*

	X	*Y*
A	+13 452,8	-7 283,5
B	+13 408,2	-7 565,4
C	+13 863,4	-7 485,8
D	+14 015,3	-7 071,5
F	+13 442,2	-7 249,1
A	+13 452,8	-7 283,5

3. Знайти кути *A* та δ, після запроектувати площу P_3 = 2 га (трапеція *DMNF*), як зазначено вище.

Таблиця 5.9 – ***Розрахункова таблиця***

$^{S}D_$	+1401527	tg(*AT*)_	−3,22720	Δ*Y AF*	+34,43	*SF* _	+1344216
^{X}A	+1345283	tg(*DF*)	+0,30987	*yA*	−7283,51	*SD*	+14015,27
$^{X}D - {}^{X}A$	+562,44	tg(*AT*) − − tg(*DF*)	3,53707	*YF*	−7249,08	$^{I}F - {}^{S}D$	

Продовження табл. 5.9

$\mathrm{tg}(DF)$	+0,30987	ΔX_{AF}	−10,67	$\sin(AT)$	+0,95519	$\cos(DF)$	0,95519
${}^{Y}D$	− 7071,50	X_A	+13452,83	$AF=\frac{\Delta_Y AF}{\sin(AT)}$	36,05	DF	600,00
− ${}^{Y}A$	− 7283,51						
		X_F	+13442,16	$\cos(AT)$	−0,29599	${}^{Y}F$	7249,08
				$AF=\frac{\Delta x AF}{\cos(AT)}$	36,05	${}^{Y}D$	− 7071,50
						${}^{Y}F-{}^{Y}D$	+177,58
						$\sin(DF)$	0,29599
	+37,73					DF	599,05

5.9. Проектування аналітичним способом за наближеними формулами

Аналітичне проектування супроводжується досить складними обчисленнями і потребує більше часу й уваги, ніж проектування графічним способом або за допомогою планіметра. Тому при проектуванні застосовують переважно ці прості способи, хоча вони в багатьох випадках не забезпечують необхідної точності.

Якщо врахувати неточність вихідних даних і неминучі похибки у наступних вимірах при перенесенні проекту в натуру, то замість складних формул і прийомів аналітичного проектування можна використовувати простіші, які дають наближені, але цілком прийнятні для практичних цілей результати. Можна прийняти, що цій умові відповідатимуть усі прийоми наближеного визначення висот проектованих ділянок у формі трапецій і довжин їхніх паралельних сторін, якщо похибки в розрахунках не будуть перевищувати 1:1000 – 1:1500 визначених величин.

Таблиця 5.10 – ***Проектування ділянок аналітичним способом за наближеними формулами***

Номер	Формули	Номер ділянки				Контроль
		1	2	3	4	
1	P	241700	241700	241700	241700	
2	a_j	724,7	775,1	822,4	867,1	
$3=\frac{(1)}{(2)}$	$\frac{P}{a_j}$	333,5	311,8	293,9	278,8	
$4=(3)K$	$\frac{P}{a_j}K$	−52,6	−48,8	−46,0	−43,6	
$5=(2)-(4)$	$b_j=a_j-\frac{P}{a_j}K$	777,3	823,9	868,4	910,7	
$6=\frac{(1)}{(5)}$	$\frac{P}{b_j}$	310,9	293,4	278,3	265,4	

Продовження табл. 5.10

Номер	Формули	Номер ділянки				Контроль
		1	2	3	4	
$7=(3)+(6)$	$2h_j$	644,4	605,2	572,2	544,2	
$8=\frac{(7)}{2}$	h_j	322,2	302,6	286,1	272,1	
$9=(8)K$	$h_j K$	−50,4	−47,3	−44,7	−42,6	
$10=(2)-(9)$	$a_j+1=b_j=a_j-h_jK$	775,1	822,4	867,1	909,7	$909,7=CD$
$11=(8)\cos ec\,a$	$c_j=h_j\cos ec\,a$	330,0	309,9	293,0	278,7	$1211,6=BC$
$12=(8)\cos ec\,\beta$	$d_j=h_j\cos ec\,\beta$	322,9	303,2	286,7	272,7	$1185,5=AD$

Спільні члени:

a	102°27	ctg a	−0,22078	$\cos ec\,a$	1,02408
β	86 19	ctg β	+0,06438	$\cos ec\,\beta$	1,00207
		K	−0,15640		

Перше наближене значення висоти проектної ділянки у формі трапеції буде одержано, якщо поділити задану площу на її основу:

$$h'=\frac{P}{a}\ . \qquad \text{(а)}$$

Якби була б відома її друга основа b, то мали б друге наближене значення висоти:

$$h''=\frac{P}{h}. \qquad \text{(б)}$$

Середнє з одержаних значень висоти буде близьким до її правильного значення:

$$h\approx\frac{1}{2}(h'+h'')=\frac{1}{2}\left(\frac{P}{a}+\frac{P}{b}\right). \qquad \text{(в)}$$

Але невідоме значення b можна виразити через a, згідно з (5.8)

$$b = a–h\ (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}ß).$$

Позначимо:

$$\text{ctg}\alpha + \text{ctg}ß = K, \qquad \text{(г)}$$

напишемо:

$$b = a - h\text{x}K. \qquad \text{(д)}$$

Змінивши тут h його наближеним значенням через (а) і підставив (д) у (в), одержимо:

$$h\approx\frac{1}{2}\left(\frac{P}{a}+\frac{P}{a-\frac{P}{a}K}\right). \qquad (5.15)$$

Проектування ділянок за формулою (5.15), відповідно до рисунка 5.4, б наведено в таблиці 5.10.

Порівнюючи одержані результати з даними проектування тих же самих ділянок (табл. 5.7), бачимо, що шукані величини вийшли майже однаковими. Якщо кути *a* й *p* невідомі, то значення *K* у формулі (5.15) можна обчислити виходячи з виразу (д):

$$K = \frac{a - b}{h}. \qquad (5.16)$$

За рисунком 5.4, б, значення c_1, c_2,..., D_1, d_2, ... в такому випадку обчислюють за формулами (5.б).

Формула (5.15) дає добрі результати при проектуванні ділянок, за формою близьких до прямокутника, з невеликим значенням *K* і дуже подовжених.

Якщо у проектованих ділянок середня лінія близька до висоти й $|K| > 0{,}4$, то виходять неприпустимі перекручені значення висоти ділянок. Для уточнення результатів доводиться вводити поправки і виробляти додаткові обчислення. При цьому формула виходить складною, а обчислення стають громіздкими, що виключає можливість її практичного використання. Тому в таких випадках простіше проектувати аналітичним способом, не вдаючись до наближених формул, або застосовувати один із прийомів графоаналітичного проектування, описаних в наступних підрозділах.

5.10. Графоаналітичне проектування

До вказаного виду проектування відносять випадки, коли деякі величини, що входять у формулу, яку використовують при проектуванні, визначають за планом. Для цього попередньо проектують ділянки за допомогою номограми, графічним способом або планіметром. У посібнику наведений випадок, коли середню лінію чи основу трапеції визначають за планом, а висоту і бічні сторони трапеції обчислюють за кутами біля основи або за бічними сторонами трапеції, в якій проектують окремі ділянки.

При графоаналітичному проектуванні, так само як і при графічному, межі ділянок попередньо намічають за допомогою номограми. Потім можуть бути використані відповідні способи уточнення значень висот запроектованих ділянок.

Перший спосіб. Із плану графічно беруть висоти запроектованих за номограмою ділянок h_1, h_2, h_3 і т. д., ув'язують до загальної висоти всієї трапеції *EF* (див. рис. 5.4, б) й одержують виправлені (ув'язані) h_1', h_2', h_3' і т. д. За цим значенням висот можна обчислити відповідні значення другої основи трапеції, маючи першу основу, при цьому використовують формулу (д):

$$b = a - HK. \qquad (а)$$

Обчисливши всі основи, одержують розміри трапецій, за якими можна точно визначити їхні площі.

$$2P_1 = (a_1 + b_1)h_1'; \quad 2P_2 = (b_1 + b_2)h_2' \quad \text{і т.д.}$$

Ці площі будуть відрізнятися від заданих у межах близько 1%. Якщо за умовами складання проекту такі відхилення прийнятні, то залишається обчислити довжини бічних сторін запроектованих ділянок, необхідні для перенесення проекту в натуру.

Якщо ж такі відхилення неприпустимі, то можна виконати один з наступних двох способів.

Другий спосіб. Для обчислення уточнених висот трапецій використовують, як і в першому способі, що обумовлені, висоти h_1', h_2', h_3' і т. д.

Додавши до обох частин рівності (а) величину a, напишемо:

$$a + b = 2a – hк,$$

тому:

$$h = \frac{2P}{a+b} \approx \frac{2P}{2a - h'K} = \frac{P}{a - 0{,}5h'K}. \qquad (5.17)$$

Бічні сторони у такому разі визначають за формулою (5,б).

Третій спосіб. Величину b визначають графічно, за планом, а величину h' у формулі (5.17) замінюють її значенням:

$$h'' = \frac{2P}{a + b_{\text{гр}}}, \qquad (5.18)$$

тому

$$h \approx \frac{P}{a - \dfrac{PK}{a = b_{\text{гр}}}}. \qquad (5.19)$$

Бічні сторони обчислюють, як і в попередньому випадку, за формулою (5.б).

Після проектування першої трапеції (див. рис. 5.4, б) треба визначити величину a для проектування другої трапеції. Але величина b у першої трапеції не що інше, як величина а в другої трапеції, тому після обчислення b, за формулою (5.18) треба уточнити b згідно з формулою (а)

$$b_i = a_{i+1} = a_1 - h_1 K.$$

Якщо значення α і β невідомі, то величину K можна визначити за формулою (5.16), обчислити значення A за планом між сторонами AB і CD (див. рис. 5.4, б), а значення c_1, c_2, . . ., D_1, d_2, – за формулою (5.6).

Для доказу, що значення b буде точнішим за формулою (5.19), ніж за формулою (5.18), достатньо взяти похідні від b по b у цих формулах.

Так, для формули (5.18) матимемо:

$$\frac{\partial h}{\partial b} = \frac{-2P}{(a+b)^2},$$

або з урахуванням (5.18):

$$\frac{\partial h}{\partial b} = \frac{-h}{a+b}. \qquad \text{(б)}$$

Для формули (5.19)

$$\frac{\partial h}{\partial b} = \frac{-P}{\left(a - \frac{PK}{a+b}\right)^2} \times \frac{(a+b)a - \left(a^2 + ab - PK\right)}{(a+b)^2} = \frac{-P}{\left(a - \frac{PK}{a+b}\right)^2} \times \frac{PK}{(a+b)^2}.$$

Враховуючи (5.18), (5.19) і (а), одержимо:

$$\frac{\partial h}{\partial b} = \frac{-h}{a+b} \cdot \frac{hK}{a+b}. \qquad \text{(в)}$$

Величина в кілька разів менша від одиниці. Так, для трапецій, зображених на рисунку 5.4, б, ця величина становить 1:30 і результат, одержаний за формулою (б), буде в 30 разів більшим, ніж за формулою (в).

Отже, обчислення h за формулою (5.19) у 30 разів точніше, порівняно за обчисленням (5.18); Тому при використанні формули (5.19) величину $b_{\text{Гр}}$ цілком можна визначати за планом, особливо при малому значенні К.

Приклад. У трапеції a = 1100 м, b = 900 м і h = 500 м = 50 га, K = 0,4.

Нехай ув'язана висота h' буде 505 м (для наочності візьмемо граничну для масштабу 1:25 000 похибку 5 м). Тоді за першим способом $b = a - h'K$ = =1100 – 505 – 0,4 = 898 м, а площа $2P$ = 1998 м × 505 м = 100,9 га; P = 50,45 га.

За другим способом:

$$h = \frac{500\,000}{1100 - 505 \cdot 0{,}2} = 500{,}5 \text{ м}$$

При обчисленні за третім способом нехай $b_{\text{Гр}}$, взяте з плану, так само 905 м (похибка та ж саме: 5 м), тоді:

$$h = \frac{500\,000}{1100 - \frac{500\,000 \cdot 0{,}4}{1100 + 905}} = 499{,}9 \text{ м}.$$

Таблиця 5.11 – ***Проектування ділянок за першим способом***

$$P = \frac{(a+b)h_{\text{гр. ув.}}}{2}; \qquad b = a - h_{\text{ув}} K; \qquad K = -0{,}1564$$

Номер ділянки	P задана	A	$h_{\text{гр}}$	$h_{\text{ув}}$	$h_{\text{уп}}K$	$b=a-h_{\text{ув}}K$	$P_{\text{пр}}=\frac{(a+b)h_{\text{ув}}}{2}$	Відхилення від заданої площі		
								$\Delta P = P_{\text{заб}} - P_{\text{пр}}$	$\Delta P : P$	Відхилення, %
1	24,17	724,7	324	324	-50,7	775,4	24,30	-0,13	1:190	0,5
2	24,17	775,4	300 -1	300	-46,9	822,3	23,93	+0,21	1:120	0,9
3	24,17	822,3	286 -1	285	-44,6	866,9	24,07	+0,10	1:400	0,4
4	24,17	866,9	275	274	-42,9	909,8	24,35	-0,18	1:400	0,7
$\sum P = 96{,}68$		$\sum h = 1185$ $H = 1183$ +2		1183			96,68			

Таблиця 5.12 – ***Проектування ділянок за другим способом***

$$h = \frac{P}{a - 0{,}5 h_{\text{ув}} K};$$

де $K = -0{,}1564$.

Номер ділянки	P задана	A	$h_{\text{гр}}$	$h_{\text{ув}}$	$0,\ h_{\text{уп}}K$	$a-0{,}5h_{\text{ув}}K$	$h=\frac{P}{a-0{,}5h_{\text{ув}}K}$	hK	$b=a-hK$
1	24,17	724,7	324	324	-25,4	750,1	322,2	-50,4	775,1
2	24,17	775,1	300 -1	300	-23,5	798,6	302,7	-47,3	822,4
3	24,17	822,4	286 -1	285	-22,3	844,7	286,1	-44,7	867,1
4	24,17	867,1	275	274	-21,4	888,5	272,0	-42,5	909,6 пр
		$\sum h = 1185$ $H = 1183$ +2		1183		$\sum h =$ $H =$	1183,0 1183,0		

Із наведеного прикладу видно, що, незважаючи на грубі похибки в h' та $b_{Гр}$ результати виходять цілком прийнятні, відносна похибка у отриманих значеннях висоти не перевищує 1:1000 навіть за другого способу.

При компактній формі ділянок і значенні $K > 0{,}4$ потрібно застосовувати третій спосіб як більш точніший. У таблицях. 5.11, 5.13 наведені приклади проектування ділянок, зображених на рисунку 5.4, б, трьома способами. Обчислення за третім способом можна також показати на схемі, наведеній у таблиці 5.14.

У вказаних таблицях спочатку виконують обчислення в перших 10 рядках і, переконавшись, що Σhi близька до H, взятому за планом, визначають c_i та d_i.

Таблиця 5.13 – ***Проектування ділянок за третім способом (І варіант)***

$$h = \frac{P}{a - \frac{PK}{a + b_{гр}}},$$

де $K = -0{,}1564$.

Номер ділянки	P задана	PxK	a	$b_{гр}$	$a+b_{гр}$	$\frac{PK}{a+b_{гр}}$	$a-\frac{PK}{a+b_{гр}}$	$h=\frac{P}{a-\frac{PK}{a+b_{гр}}}$	hK	$b=a-hK$
1	24,17	-37 802	724,7	774,0	1498,7	-25,2	749,9	322,3	-50,4	774,4
2	24,17	-37 802	774,4	820,0	1594,4	-23,7	798,1	302,8	-47,4	821,8
3	24,17	-37 802	821,8	865,0	1686,8	-22,4	844,2	286,3	-44,8	866,7
4	24,17	-37 802	866,7	909,8	1776,5	-21,3	888,0	272,2	-42,5	909,2

$$\sum h = 1183{,}6$$
$$H = 1183{,}0$$
$$+ 0{,}6 \text{ м.}$$

Одержані значення висот і других основ тут, як бачимо, практично рівнозначні одержаним раніше (див. табл. 5.7 і 5.10).

Таблиця 5.14 – ***Проектування ділянок за третім способом (ІІ варіант)***

Номер	Формули	Номер ділянки				Контроль
		1	2	3	4	
1	P	241700	241700	241700	241700	
2=(1)K	PK	−37780	−37780	−37780	−37780	
3	a_j	724,7	775,1	822,4	867,2	

Продовження табл. 5.14

Номер	Формули	Номер ділянки				Контроль
		1	2	3	4	
4	$b_{j_{\text{гр}}}$ (за планом)	776	821	865	912	
$5 = (3) + (4)$	$a_j + b_{j\text{гр}}$	1501	1596	1687	1779	
$6 = \frac{(2)}{(5)}$	$\frac{PK}{a_j + b_{j\text{гр}}}$	–25,1	–23,7	–22,4	–21,2	
$7 = (3) - (6)$	$a_j - \frac{PK}{a_j + b_{j\text{гр}}}$	749,8	798,8	844,8	888,4	
$8 = \frac{(1)}{(7)}$	h_j	322,4	302,6	286,1	272,1	$\sum h = 1183{,}2$
$9 = (8)K$	h_jK	$-50{,}4$	$-47{,}3$	$-44{,}8$	$-42{,}6$	
$10 = (3) - (9)$	$a_j + 1 = b_j = a_j - h_jK$	775,1	822,4	867,2	909,8	$1211{,}7 = BC$
$11 = (8) + C(8)$	$a_j = h_j + ch_j$	330,2	309,9	293,0	278,6	$1185{,}5 = AD$
$12 = (8) + D(8)$	$d_j = h_j + Dh_j$	323,0	303,2	286,7	272,6	

Спільні члени

a b	724,7 909,7	h (за планом)	1184	BC $BC - \sum h$	1211,6 28,4	AD $AD - \sum h$	1185,5 2,3
$a - b$	$-185{,}0$	$K = \frac{a-b}{h}$	$-0{,}1563$	$C = \frac{BC - \sum h}{\sum h}$	0,0240	$D = \frac{AD - \sum h}{\sum h}$	0,0020

При проектуванні всього масиву *ABCD* для забезпечення паралельності сторін *AB* і *CB* за величиною *H* обчислюють сторони:

$$BC = \frac{H}{\sin\alpha} \text{ і } AD = \frac{H}{\sin\beta}.$$

Якщо кути α й β невідомі, то їх визначають за планом за допомогою транспортира. Сторони *BC* і *AD* можна обчислити залежно одна від одної в такому порядку (див. рис. 5.4, б):

$$x = \sqrt{AD^2 - H^2}; \quad y = CD - AB + x; \quad BC = \sqrt{y^2 + H^2}.$$

Залежно від величини кутів α і β (тобто від форми трапеції *ABCD*) значення у може бути обчислено за формулами:

$$y = AB - CD - x;$$

або

$$y = AB - CD + x.$$

5.11. Можливості спрощення обчислювальних робіт при складанні проектів

Значення площ проектованих ділянок і довжини їхніх сторін виражаються числами, що мають звичайно не більше п'яти значущих цифр, з яких три або чотири перші – правильні й одна або дві останні – сумнівні. Наприклад, площа поля 243,24 га. Якщо навіть вона обчислена за лінійним даними, виміряними на місцевості, то і в такому разі не є абсолютно точною. Якщо це поле квадратної форми, то сторона його буде 1559,6 м; при повторних вимірах вона може отримати нові значення – 1559,3 або 1559,9 м навіть за найсприятливіших умов вимірювання ліній. Відповідно до цих даних змінюватиметься і площа поля від 243,14 до 243,33 га.

Отже, заокруглення величини площі поля до 243,2 га, а довжини ліній – до 1560 м не внесе істотних похибок в початкові величини, оскільки нові значення знаходяться у межах допустимих відхилень. Тому можна зробити висновок, що для спрощення обчислювальних робіт величини довжин ліній, що перевищують 1000–1500 м, можна округлювати до цілих метрів, а площу, що перевищують 100–200 га, – до десятих часток гектара, якщо їх визначають аналітичним способом. Ось чому в тих випадках, коли доводиться добувати квадратний корінь, наприклад, при обчисленні основи трапеції за формулою:

$$a_{i+1} = \sqrt{a_i^2 - 2P\left(\operatorname{ctg}\,\alpha + \operatorname{ctg}\,\beta\right)}.$$

За таблицею 5.18, зручніше площі не переводити у квадратні метри, а залишати їхнє значення в гектарах, довжини ж ліній вимірювати у сотнях метрів. При цьому для наочності слід відокремлювати в числах сотні метрів знаком межі вліво від коми. Це виключить необхідність оперувати при обчисленні з великими шести- і семизначними числами, в яких останні дві або три цифри є неправильними. Наприклад, у числі 128,5 га =1 285 000 м^2 три нулі є неправильними, ніякого впливу на точність результатів не проявляють, але в той же час ускладнюють обчислення і нерідко призводять до похибок. Особливо незручно оперувати з великими числами, коли доводиться зводити їх у квадрат або добувати квадратний корінь.

Приклад. Потрібно спроектувати аналітичним способом ділянку площею 63,13 га у трапеції з основою a = 1585,6 м і коефіцієнтом K = 0,45 433.

Обчислення при скороченні запису, як бачимо, значно простіше; зручніше проводити дії на калькуляторі. При цьому зменшується кількість похибок у постановці ком, робота виконується швидше, а результати одержують практично однакові, бо похибки при цьому не виходять за межі 1:2000 величини результату.

Разом із цим слід враховувати, що якщо похибка визначення величини другої основи, довжина якої менша 1000 м і виражається тризначним

числом, не перевищує 1 м, то це дасть похибку при обчисленні висоти не більше 0,5 м навіть при компактній формі ділянки, а при подовженій формі зі співвідношенням сторін 1,5–2 – не більше 0,2–0,3 м. Похибка площі через це становитиме від 0,01 до 0,02 га при довжині ділянки 500–600 м, тобто не більше 1:700 – 1:1000 його площі, що практично є прийнятним. Тому при проектуванні ділянок, розміри сторін яких у цілих метрах виражаються тризначними числами, цілком можливе наближене визначення другої основи за допомогою логарифмічної лінійки за формулою:

$$b_{\text{пр}} = \sqrt{a^2 - 2PK}\,. \qquad \text{(а)}$$

Тоді висота визначиться за формулою (5.18):

$$h = \frac{2P}{a + b_{\text{пр}}}.$$

Однак при проектуванні великих ділянок, в яких довжини сторін більші 1000 м, результати визначення за логарифмічною лінійкою будуть неточними і похибки обчислення висоти компактних ділянок може становити 3–5 м, що призведе до неприпустимих похибок у площах. У такому разі висоти треба визначати за формулою (5.19)

$$h = \frac{2P}{a - \dfrac{PK}{a + b_{\text{пр}}}},$$

де $b_{\text{пр}}$ – довжина другої основи, яку обчислюють за логарифмічною лінійкою, використовуючи формулу (а).

Після цього більш точно визначають значення величини другої основи за формулою:

$$b = a - h \times K,$$

що необхідно для проектування наступної ділянки.

Як видно з викладеного, застосування наближеного аналітичного та графоаналітичних способів проектування і спрощення обчислювальних робіт можуть значно зменшити затрати часу на проектні роботи й на підготовку геодезичних даних для перенесення проекту в натуру. Як показали дослідження, проектування ділянок у формі трапецій першим і другим графоаналітичним способом за допомогою логарифмічної лінійки й за наближеною формулою (5.15), потребує на 40–50% менше часу порівняно з аналітичним способом і на 20–30% менша порівно з механічним. Навіть при більш складному третьому способі графоаналітичного проектування за формулою (5.19) економія часу в порівнянні з аналітичним проектуванням становить 20–30%.

При проектуванні ділянок у багатокутних фігурах переваги щодо затрат часу має механічний спосіб. Він незамінний, тоді, коли межі проектованих ділянок спираються на криволінійні контури. Грубі неточності в площах ділянок, які бувають при цьому, особливо при масштабі 1:25 000, усунуті подальшим обчисленням за їх за даними натурних вимірювань при перенесенні проекту.

5.12. Випрямлення меж при землекористуванні

Випрямлення зазвичай необхідне при усуненні вклинювання у межах землекористування. При цьому нову межу проводять із таким розрахунком, щоб площі землекористування не змінилися. Нові межі проектують залежно від необхідної точності графічним, механічним або аналітичним способами.

Розглянемо кілька задач.

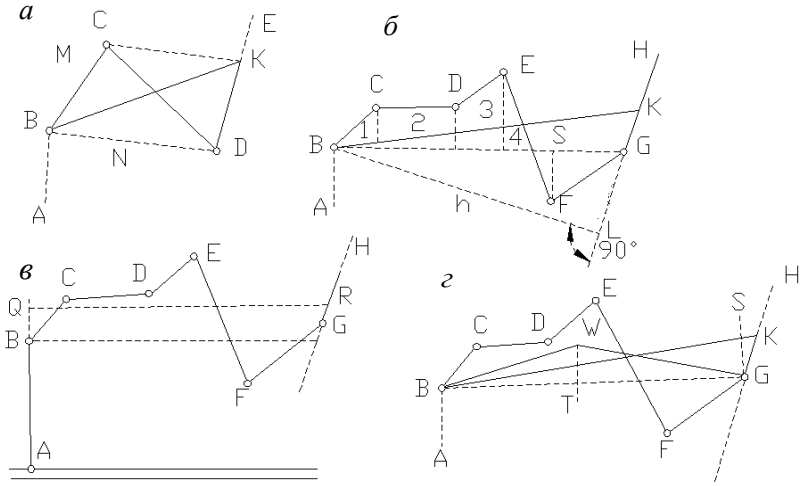


Рис. 5.10. Випрямлення меж

На межі *ABCD* (рис. 5.10, а) потрібно усунути вклинювання у землекористування *M* (точка *C*) і в землекористування *N* (точка *D*). При цьому за ескізним проектом нова межа має проходити від точки *B* до лінії *DE*.

Найпростіше розв'язати цю задачу графічним способом, без яких – обчислень полягає у тому, що з точки *C* проводять на плані лінію, паралельну *BD*, і в перетині її з лінією *DE* одержують точку К.

Лінія *BK* буде новою межею, оскільки трикутники *BCD* і *BKD* рівновеликі, й мають спільну основу та однакові висоти.

Інший варіант розв'язання вказаної задачі зводиться до того, що графічним способом визначають площу *P* трикутника *BCD*, потім за планом вимірюють відстань від точки *B* до лінії *DE*, яка буде заввишки *h* трикутника *BKD*, після чого обчислюють:

$$DK = \frac{2P}{h},$$

відкладають одержану відстань від точки *D*, одержують точку *K* і проводять межу *BK*.

При розв'язанні цієї задачі аналітичним способом також можна застосувати кілька варіантів. Наприклад, розв'язанням зворотної геодезичної задачі за координатами точок *B* та *D* обчислюють довжину й дирекційний кут лінії *BD*, потім викреслюють координати точки *K* як перетини двох ліній, які виходять із точок *C* і *D* з дирекційними кутами, відповідно (*BD*) та (*DE*).

Другий варіант розв'язання цієї задачі аналітичним способом полягає в обчисленні площі *P* трикутника *BCD* за координатами вершин (формула 4.8) або за кутом *C* і сторонам *BC* і *CD* (формула 4.7), у визначенні довжини й дирекційного кута лінії *BD*, після чого обчислюють:

$$GK = \frac{2P}{h}.$$

Аналогічно спрямляють межі при великій кількості поворотів. Нехай нова межа має проходити від точки *B* (див. рис. 5.10, б) до лінії *GH*. При застосуванні графічного способу проводять лінію через точки *B* та *G*, опускають на неї перпендикуляри з поворотних точок межі й обчислюють площу *P* фігури *BCDEFGB* як алгебраїчну суму фігур (1) + (2) + (3) + (4) – (5). Потім визначають за планом відстань від точки *B* до лінії *GH*, яка буде висотою *h* трикутника *BGK*, після чого обчислюють:

$$LK = \frac{2P_{\delta}}{h}.$$

Алгебраїчну суму площ (1) + (2) + (3) + (4) – (5), тобто площу *P*, можна визначити планіметром, ведучи обвідний шпиль від точки B по ламаній лінії *BCDEFG*, потім – по лінії *GB* до точки *B*. Різниця відліків, помножена на ціну поділки планіметра, дасть шукану площу *P*. Якщо різниця відліків буде негативною, коли (1) + (2) + (3) + (4) <(5), то це означає, що обчислену основу *GK* треба відкладати від точки G не в напрямку на точку *H*, а у зворотному напряму до продовження лінії *HG*.

Замість лінії *BG* можна провести іншу лінію, яка не перетинатиме випрямлену межу, наприклад лінію *BL*, планіметром або графічним способом обчислити площу P_{δ} фігури *BCDEFGL*, визначити за планом відстань від точки *B* до лінії *GH*, у даному разі величину *BL* = *h*, після чого обчислити:

$$LK = \frac{2P_{\delta}}{h}.$$

Потім, відклавши від точки *L* відстань *LK*, одержують точку *K* і з'єднують із точкою *B*.

При аналітичному способі проектування алгебраїчну суму P = (1) + +(2) + (3) + (4) – (5) можна визначити за координатами точок, записавши їх у відомість в такій послідовності: B, C, D, E, F , G, B. Розв'язавши зворотну геодезичну задачу за координатами точок B і G, одержують довжину й дирекційний кут лінії BG, після чого обчислюють:

$$GK = \frac{2P}{BG \times \sin\{(GH) - (GB)\}}.$$

Нерідко нову межу треба провести паралельно заданому напрямку, наприклад паралельно дорозі AB (див. рис. 5.10, в). Для цього попередньо проводять лінію BQ | | AB, після чого обчислюють площу фігури $BCDEFGQB$ графічним способом або планіметром, проектують цю площу трапецією, при цьому новою межею буде лінія $AQRH$.

При аналітичному способі проектування спочатку обчислюють координати точки Q як перетину ліній, що виходять Із точок B і за дирекційними кутами відповідними (AB) і (BG), потім за координатами точок B, C, D, E, F, G, Q, B обчислюють площу P_{δ}, яку проектують трапецією по основі BO та кутах при цій основі(AI) – (AB) і (GH) – (IA).

Для одержання нової межі, яка виходить із точки B (див. рис. 5.10, г), у натурі на лінію опускають перпендикуляри з точок C, D, E, ... Вимірюють довжину лінії BG (разом визначають основи перпендикулярів і перетину старої межі з лінією BG) і довжини перпендикулярів. За одержаними вимірюваннями за допомогою логарифмічної лінійки обчислюють площі (1), (2), (3), (4), (5) (див. рис. 5.10, б), подвоєну (алгебраїчну) суму цих площ ділять на довжину лінії BO й одержують висоту (див. рис. 5.10, г)

$$GS = \frac{2P}{BG}.$$

Цю висоту відмірюють на перпендикулярі, побудованому за допомогою екера з точки G, а з точки S будують інший перпендикуляр SK до лінії GS до перетину з лінією GH. Лінія BK є виправленою межею.

При усуненні вклинювання може виникати необхідність, у тому щоб виправлена межа починалася і закінчувалася в точках B і C, маючи один злам у точці W (див. рис. 5.10, г).

Очевидно, де б не була побудована висота WT на лінії BG, площа трикутника BWG від цього не зміниться, і вибір місця для поворотної точки W залежить від господарської доцільності.

Задачу, проілюстровану на рисунку 5.10, б, можна розв'язати також шляхом графічних побудов (без будь-яких обчислень), використовуючи властивість рівновеликих трикутників, згідно з рисунком 5.10, а. Для цього послідовно виключають повороти ламаної лінії C, D, E, P (рис. 5.11, а),

починаючи з останнього повороту *F*. Наприклад, поворот *F* виключають тим, де проводять лінію F_1, паралельну *Eg*, і з'єднують точки *E* й 1. Лінія *E*1 виключила поворот *F*. Далі для виключення повороту *E* (рис. 5.11, б) проводять лінію *E*2, паралельну *D*1, й з'єднують точки *D* і 2. Лінія *D*2 виключила поворот *Є*. Потім, для виключення повороту *D* (рис. 5.11, в) проводять лінію *D*3, паралельну *C*2, й з'єднують точки *C* і 3. Лінія *C*3 виключила поворот *D*. Нарешті, для виключення повороту *C* (рис. 5.11, г) проводять лінію *CK*, паралельну *B*З, і з'єднують точки *B* і *K*. Лінія *BK* виключила поворот *C* і є проектною з проектної точкою *K* (див. рис. 5.11, г і 5.10, б).

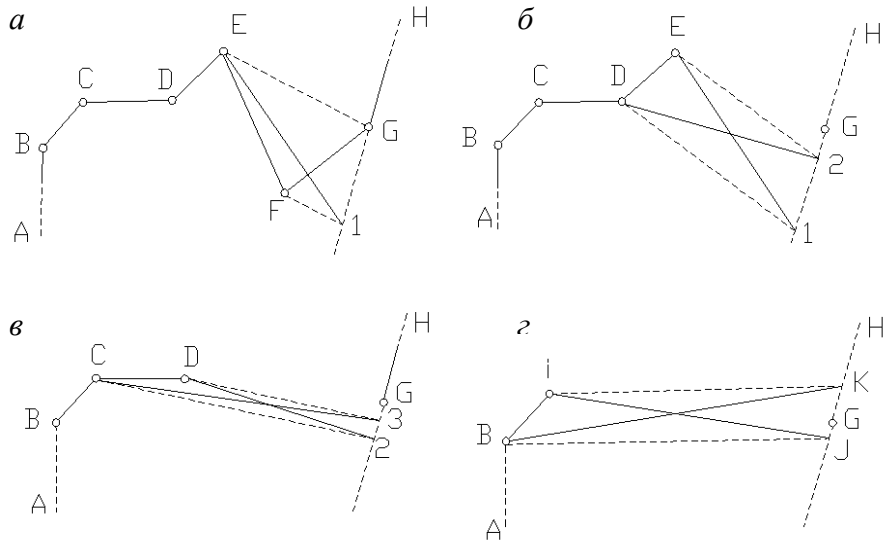


Рис. 5.11. Виключення поворотів ламаної лінії

При практичному розв'язанні задачі з великою кількості поворотів ламаної лінії виходить велика кількість ліній, що ускладнюють проектування. Тому після кожного випадку повороту стирають побудовані лінії й залишають лише одержані точки 1, 2, 3, *K*.

Описаний спосіб проектування застосовують також для заміни ламаної лінії профілю місцевості прямою лінією, щоб одержати однакові об'єкти земляних робіт – насипів і виїмок при вертикальному плануванні.

5.13. Особливості проектування при плануванні сільських населених пунктів

Складання проектів сільських населених пунктів полягає у розміщенні на проектному плані різних об'єктів: – житлової й виробничої зон тощо, а в межах цих зон – кварталів та ділянок, громадських і виробничих будівель, вулиць, площ та іншого, згідно з У відповідності з економічними, санітарно-гігієнічними, архітектурними й технічними вимогами і з урахуванням природних умов. Кожен об'єкт на проектному плані обмежується прямими

лініями, паралельними одна відносно другої або пересічними під заданими кутами, а також кривими лініями певних радіусів. Наприклад, вулиці повинні мати суцільно одну ширину, встановлену технічними вимогами; житлові квартали в сільських населених пунктах і виробничих центрах сільськогосподарських підприємств – розміри, зумовлені формою, площами й розмірами, ділянок, які входять до них, та ін.

Таким чином, усі об'єкти планування пов'язані між собою геометричними та числовими залежностями, і зміна в побудові і розміщенні одного об'єкта викликає зміну проекту в цілому чи у значній його частині, що є відмінною особливістю проектів планування від інших проектів, і зокрема від проектів землеустрою.

Об'єкти проектують за принципом «від загального до конкретного», тобто спочатку розміщують зони, потім усередині них – менші об'єкти (квартали, ділянки, споруди та інше.). Іноді проектування дрібних об'єктів викликає деякі зміни у великих об'єктах.

Методи проектування об'єктів планування і проектування сівозмінних масивів, полів сівозмін тощо. при складанні проектів землеустрою мають подібність і відмінність. Подібність полягає в тому, що при проектуванні тих чи інших керуються як економічними, технічними, так і геометричними умовами (паралельність протилежних сторін проектованих об'єктів, взаємна перпендикулярна полярність ліній, відношення довгих сторін до коротких). Відмінність полягає у тому, що при проектуванні полів керуються заданими площами та напрямками ліній (кутами), а при проектуванні об'єктів планування напрямками ліній, площами ділянок, лінійними розмірами і правилами архітектурно-планувальної композиції. При складанні проектів планування застосовують головним чином графічний і графоаналітичний способи, коли на проектних лініях, проведених на плані під заданим напрямками, відкладають відрізки визначених проектних розмірів.

Для розміщення окремих об'єктів із заданою площею, наприклад при проектуванні житлового кварталу і присадибних ділянок усередині нього, нерідко застосовують графічний спосіб.

5.14. Деякі способи обліку рельєфу при проектуванні об'єктів

Облік рельєфу – одна з найважливіших умов правильного розміщення проектованих ділянок. Залежно від розташування горизонталей, що характеризують форми рельєфу земної поверхні на плані, довгі сторони ділянок, піддані ерозії, розміщують паралельно загальному напрямку горизонталей (упоперек схилів), а ділянок з надлишковим зволоженням – перпендикулярно до напрямку горизонталей (уздовж пологих схилів), рідше збоку розташовують під кутом до нахилу лінії стоку.

У місцевості з різко вираженим рельєфом довгі сторони ділянки проектують уздовж горизонталей у напрямку, який збігається з напрямком руху

тракторних агрегатів, чим полегшується робота їх і досягається більш висока продуктивність, оскільки із збільшенням ухилу місцевості, напрямок якого рухається тракторний агрегат, підвищується потужність на пересування агрегату та зростає витрата пального.

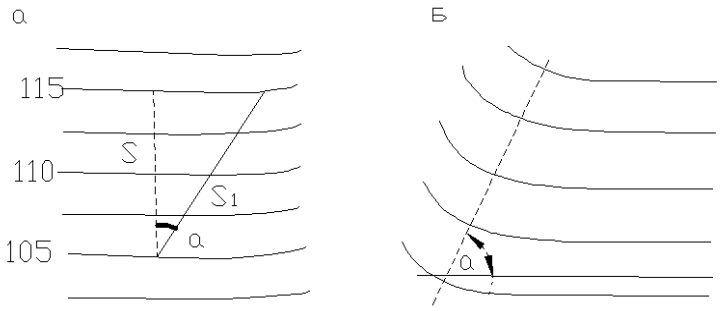


Рис. 5.12. Визначення нахилів місцевості

Нахили місцевості *i* визначають за горизонталями плану або безпосереднім розподілом перевищення між горизонталями *h* на відстань між ними, яку визначають за планом (рис. 5.12, а):

$$i = \frac{h}{s} \tag{5.20}$$

або за допомогою номограм, що називаються масштабами нахилів (див. навчальний посібник «Геодезія»). Максимальним буде нахил лінії, яка розміщена перпендикулярно до напрямку горизонталей, тобто по напрямку лінії стоку. Нахил лінії, спрямованої під кутом а до лінії стоку, зменшуватиметься:

$$i_1 = \frac{h}{s_1}$$

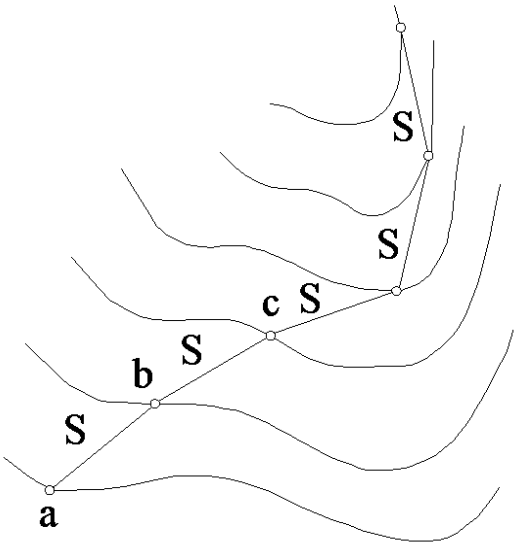


Рис. 5.13. Проектування траси

Оскільки:

$$s_1 = \frac{s}{\cos \alpha},$$

то

$$i_1 = \frac{h}{s} \cos \alpha,$$

або згідно (5.20)

$$i_1 = i \cos \alpha. \qquad (5.21)$$

При α = 0 нахил $i_1 = i$ буде максимальним, а при α = 90° дорівнює нулю. Таким чином, якщо ділянку проектують довгими сторонами паралельно напрямку горизонталей і на частині ділянки горизонталі змінюють напрямок (рис. 5.12, б), то для цієї частини нахил за довгою стороною вже не дорівнюватиме нулю. При нахилі за лінією стоку 4°, α = 60° нахил за довгою стороною для цієї частини ділянки згідно з формулою (5.21), становитиме 2°. Тим часом на подолання підйому 1° непродуктивні витрати тягової потужності трактора залежно від складу причіпних агрегатів досягають 8,5–18% нормальної тягової потужності на гаку, а витрата пального на подолання підйому 2° збільшується на 6%. Якщо нахил розглянутої частини ділянки перевищує встановлену межу, то зменшують довжину ділянки, а на цій частині розміщують нову ділянку з новим напрямком довгих сторін. У зв'язку з цим часто довгі межі ділянок проектують паралельно згину горизонталей.

На території з великими нахилами вводять ґрунтозахисні сівозміни, які розміщують упоперек схилу; ділянки з нахилами 10–12° у районах ерозії заліснюють та залужують (детально про геодезичні роботи при проектуванні заходів щодо боротьби з водною ерозією йтиметься в розділі 8).

За горизонталями можна визначати нахили з точністю до 20%, що, звичайно, забезпечується наземними способами знімання рельєфу і стереотопографічним зніманням. Для обчислення середнього нахилу на певній ділянці місцевості і його визначають у двох-трьох місцях ділянки. Точність обчислення нахилу в такому разі підвищуватиметься пропорційно до кореня квадратного з кількості визначень.

При проектуванні траси (дороги, канал, трубопровід тощо) на крутому підйомі із заданим нахилом й висотою перізу *h* обчислюють горизонтальне прокладання:

$$s = \frac{h}{i}.$$

яке беруть у вимірника; одну ніжку ставлять у точку *a* (рис. 5.13), а за другою намічають на сусідній горизонталі точку, потім від точки так же само намічають точку *c* і т. д. Оскільки нахил між горизонталями визначається середньоквадратичною похибкою 20%, то в одержаній трасі *abc* ... нахил буде коливатиметься в середньому в межах 20%.

Для планування горизонтального майданчика (вертикального планування) нівелюють поверхню по квадратах зі сторонами 5–20 м залежно від складності рельєфу, потім обчислюють середнє значення з відміток усіх вершин квадратів:

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_1 + H_2 + \ldots + H_n}{n},$$

тобто одержують оцінку проектного майданчика, після чого обчислюють робочі позначки:

$$h_1 = H_{\text{ср}} - H_1, \quad h_2 = H_{\text{ср}} - H_2, \ldots,$$

вказують висоту насипу, якщо робоча відмітка позитивна, й глибину виїмки, якщо робоча відмітка негативна. На проектному плані через точки, які мають робочі позначки, що дорівнюють нулю, проводять межу насипів і виїмок, так звану лінію нульових робіт.

Однією з основних умов проектування вертикального планування є забезпечення мінімуму та балансу обсягів земляних мас, тобто рівності об'ємів насипів і виїмок. Для обчислення обсягів земляних мас використовують різні наближені формули. Наприклад, найпростішими формулами при плануванні горизонтального майданчика будуть:

$$v_н = P_1 \frac{\Sigma(+h)}{n_1}, \quad v_в = P_2 \frac{\Sigma(-h)}{n_2},$$

де P_1 і P_2 – площі, зайняті відповідно насипами та виїмками; $\Sigma\,(+h)$ і $\Sigma\,(-h)$ – суми відповідно позитивних і негативних робочих відміток; n_1 і n_2 – кількість цих позначок, включаючи нульові.

У результаті обчислення обсягів за цими формулами, як правило, одержують:

$$v_{\text{н}} \approx v_{\text{в}}$$

При цьому обсяг земляних робіт визначають:

$$v = \frac{1}{2}\left(v_{\text{н}} + v_{\text{в}}\right)$$

Складнішими розрахунками супроводжується проектування похилих майданчиків. При цьому спочатку обчислюють проектні позначки вершин квадратів, що змінюються пропорційно до відстаней і напрямків проектного нахилу, після чого обчислюють робочі позначки, а потім – обсяги земляних робіт.

Ще складніше розв'язуються задачі завдання з проектування веркальним плануванням, якщо поряд з умовою мінімуму та балансу обсягів земляних мас ставиться умова мінімальної дальності переміщення ґрунту. В такому разі задачі розв'язують за допомогою сучасних – електронно-обчислювальних машин на основі математичного програмування і моделювання земної поверхні.

Завдання для самостійної роботи

1. Назвіть вимоги до паралельності та перпендикулярності меж сторін земельних ділянок.
2. Вимоги до точності проведення землевпорядних робіт.
3. Особливості визначення похибок вимірювання площ полів, обмежених криволінійними контурами, їхнє допустиме значення.
4. Перерахуйте прийоми складання ескізних проектів.
5. Особливості заокруглення площ земельних ділянок при складанні ескізних проектів.
6. Технічні проекти, способи та порядок їх складання.
7. Способи проектування земельних масивів за допомогою трикутника і трапеції, особливості їх використання.
8. Назвіть основні способи проектування земельних ділянок.
9. Назвіть основні напрями спрощення обчислювальних робіт при складанні проектів.
10. Які вам відомі способи обліку рельєфу місцевості при здійсненні проектування об’єктів?

Навчальний тест

1. Відносна похибка паралельності сторін полів (тобто відношення поперечного зсуву кінця лінії до її довжини) і ділянок у сприятливих умовах, при ретельній розбивці робочих кутів на місцевості може характеризуватися величиною порядку:

1) 1:1000;
2) 1:5000;
3) 1:2000;
4) 1:3000.

2. Гранична похибка визначення площ полів, межі яких обмежені криволінійними контурами балок, ярів, лісів, чагарників:

1) 1:400, а при різкій криволінійності меж полів – до 1:300;
2) 1:500, а при різкій криволінійності меж полів – до 1:400;
3) 1:300, а при різкій криволінійності меж полів – до 1:200;
4) 1:600, а при різкій криволінійності меж полів – до 1:500.

3. Чому дорівнює поправочний коефіцієнт для норм продуктивності праці, якщо нахил місцевості становить 3–4°, а тип трактора – колісний:

1) 0,98;
2) 0,90;

3) 0,95;
4) 0,97.

4. Чому дорівнює поправочний коефіцієнт для норм продуктивності праці, якщо нахил місцевості становить 1–2°, а тип трактора – гусеничний:

1) 0,98;
2) 0,99;
3) 0,95;
4) 0,92.

5. Точність заокруглення площ великих контурів при графічному способі проектування при масштабі 1:25 000:

1) до1 га;
2) 0,5;
3) 0,2;
4) 0,4.

6. Точність заокруглення площ малих контурів при графічному способі проектування при масштабі 1:25 000:

1) до1 га;
2) 0,5 га;
3) 0,2 га;
4) 0,4 га.

7. Укажіть, якими способами, які використовують для обчислюють площі земельних масивів для складання технічних проектів землевпорядкування:

1) графічний;
2) механічний;
3) аналітичний;
4) усі вище перераховані.

8. Допустиме розходження суми площ ділянок, виміряних планіметром при проектуванні, із сумою площ контурів визначають за формулою:

1) $f_{p\text{га}} = 0{,}7 \times p_{\text{га}} \times \sqrt{(n_k + n_{\text{уч}})} + 0{,}07 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$;

2) $\frac{m_p}{P} = \frac{m}{a \times h} \times \sqrt{(a^2 + h^2)}$;

3) $(\frac{m_p}{P})^2 = (\frac{m_a}{a+b})^2 + (\frac{m_b}{a+b})^2 + (\frac{m_h}{h})^2$;

4) $\sigma_{p\text{сист}} = 2 \times 9 \times P$.

9 Нахили місцевості визначають за формулою:

1) $i = \frac{h}{s}$;

2) $f_{\text{доп}} = +/- \frac{P}{500}$;

3) $(\frac{m_p}{P})^2 = (\frac{m_a}{a+b})^2 + (\frac{m_b}{a+b})^2 + (\frac{m_h}{h})^2$;

4) $\frac{m_p}{P} = \frac{m}{a \times h} \times \sqrt{(a^2 + h^2)}$.

10. Вкажіть формулу для обчислення об'єму земляних робіт при проектуванні горизонтальної ділянки землі:

1) $v = 0.5 \times (v_{\text{пас}} + v_{\text{вием}})$;

2) $h = \frac{x + y}{\text{ctg}\,\alpha + \text{ctg}\,\beta}$;

3) $P = p \times u = R \times \tau \times u$;

4) $K = \frac{(a - b)}{h}$.

Ключі: 1–1; 2 –1; 3–3; 4–2; 5–1; 6–2; 7–4; 8–1; 9–1.

Розділ 6

ПЕРЕНЕСЕННЯ ПРОЕКТІВ У НАТУРУ

6.1. Суть і способи перенесення проекту в натуру

Перенесення проекту землеустрою в натуру полягає у прокладанні й закріпленні на місцевості меж ділянок, доріг тощо, які запроектовані на плані. Для перенесення проекту в натуру вибирають найбільш простіші способи, що потребують менших затрат часу та робочої сили на виконання цього виду робіт і забезпечують водночас точність, яка задовольняє економічні й технічні вимоги сільгосппідприємства, територію якого впорядковують.

Перенесення проекту в натуру має велике значення для здійснення його сільгосппідприємством, тому важливо, щоб керівники і фахівці добре знали розташування на місцевості ділянок бригад, полів сівозмін, доріг та ін.

Технічно, перенесення проекту в натуру являє собою дію, зворотну зніманню: у процесі знімання й складання плану контури угідь і ділянок місцевості наносять на план, при перенесенні ж проекту в натуру межі ділянок із плану переносять на місцевість. Отже, точність перенесення проекту в натуру можна прирівняти до точності знімання. Якщо перенесення проекту в натуру проводять за геодезичними даними (величинами кутів і ліній), які одержують шляхом обчислень при проектуванні аналітичним способом, то на точність перенесених у натуру ділянок впливатимуть тільки похибки польових вимірювань. Якщо ж перенесення проекту в натуру здійснюють за даними, які визначали графічно на плані (після графічного або механічного проектування), то на точність перенесених у натуру ділянок, окрім похибок польових вимірювань, впливатимуть і похибки графічного визначення величин кутів і ліній на плані.

Від перенесення проекту в натуру як завершальної стадії землевпорядних робіт великою мірою залежать точність розташування на місцевості ділянок, паралельність або перпендикулярність їхніх сторін, розбіжність дійсних площ ділянок на місцевості з площами, вказаними в експлікаціях (у відомостях площ ділянок, які складають при проектуванні) та ін. Щоправда, правильно обраним способом перенесення проекту в натуру неможливо виправити геодезично неточно складеного проекту землеустрою, проте неправильно обраним способом перенесення землевпорядного проекту в натуру можна звести нанівець точність, одержану при проектуванні.

Тому три геодезичні процеси – знімання, проектування і перенесення проекту в натуру – потрібно виконувати з відповідною точністю. При допущеній неточності в одному з процесів не можна досягти необхідної точності за проектом у цілому.

Перенесення проекту в натуру проводять такими способами:

1) промірів – вимірювальним приладом;

2) кутомірним – теодолітом із вимірювальним приладом;

3) графічним – мензулою.

Застосування зазначених способів можливе для будь-якого проекту землеустрою і на матеріалі будь-якого виду знімання. Проте доцільність застосування того чи іншого способу залежить від:

– технічних вимог до паралельності та перпендикулярності сторін проектованих ділянок;

– способу проектування, який застосовували при складанні проекту землеустрою;

– топографічних умов місцевості (рівна, з чітко вираженим рельєфом, відкрита, закрита);

– виду проектних ліній (прямі чи ламані);

– виду планово-картографічного матеріалу, використаного при проектуванні (плани теодолітного, мензульного знімання, аерофотознімання та ін.)

З урахуванням указаних умов перенесення проекту в межах одного землекористування може бути розроблено за допомогою різних методів.

Перенесенню проекту в натуру вимірювальним приладом слід завжди віддавати перевагу, особливо у тому разі, якщо:

- місцевість відкрита, тобто прокладанню проектної лінії на місцевості не перешкоджають деревні насадження, будівлі, рельєф;

- положення решти перенесених у натуру ліній визначається проміром між точками, які позначені на плані й точно визначаються в натурі (знаки, стовпи, кілки, вершини кутів поворотів чітко виражених контурів ситуації).

Якщо проектування проводили аналітичним або графічним способом, коли у процесі проектування обчислюють довжини промірів, то як опору при перенесенні проекту використовують точки раніше прокладених теодолітних ходів.

При проектуванні планіметром у поєднанні з графічним способом основою для перенесення проекту в натуру можуть бути використані прямі лінії контурів орних земель, прямі дороги, вершини кутів поворотів чітко виражених контурів ситуації не менше 40° і не більше 140°. Такі кути мають плани аерофотознімання й у меншій мірі – плани мензульного і теодолітного знімання.

Перенесення проекту в натуру за допомогою теодоліту і вимірювального приладу здійснюють у випадках, якщо:

1) умови місцевості, зважаючи на залісненість, наявність чагарників, забудову чи горбистість, закривають видимість у потрібних напрямках, не дають можливості перенести проект тільки способом промірів;

2) проектні межі являють собою ламані лінії й при прокладанні їх виникає необхідність будувати кути;

3) точки ситуації не можуть бути надійною опорою для перенесення проекту в натуру, тому є потреба у визначенні положення точки шляхом побудови кутів і промірів ліній від точок та ліній теодолітних ходів і пунктів геодезичної мережі.

Проект краще переносити у натуру мензулою в тиху суху погоду й за наявності плану мензульного знімання або аерофотознімання переважно на жорсткій основі (картон, фанера, целулоїд, алюміній та ін), якщо:

а) проектування проводили планіметром чи планіметром у поєднанні з графічним способом;

б) не потрібна строга паралельність і перпендикулярність сторін ділянки, як, наприклад, сіножатних та пасовищних угідь:

в) точки ситуації не можуть бути надійною опорою для перенесення проекту й виникає необхідність визначати положення точки шляхом побудови напрямків і промірів ліній;

г) по межах землекористування й усередині його відсутні теодолітні ходи, наявна тригонометрична мережа негуста, а застосування теодоліта нераціональне.

Способи та прийоми перенесення проекту відповідають способам знімальних і планувальних робіт: не можна переносити в натуру від контурів ситуації проект, складений аналітичним способом, але немає потреби у прокладанні теодолітного ходу для визначення меж між ділянками неправильної конфігурації, в яких унаслідок існуючої криволінійності контуру відсутні прямі кути і сторони непаралельні. У такому разі доцільним буде спосіб визначення меж ділянок промірами від чітко виражених контурів ситуації – доріг, вимоїн та ін.

6.2. Підготовка до перенесення проекту в натуру

Яким би способом не проектували і який би спосіб на був прийнятий для перенесення проекту в натуру, перед виходом у поле детально й ретельно обдумують порядок перенесення проекту з тим, щоб при здійсненні польових робіт, куди залучають значну кількість працівників і транспорту, не затрачати часу на те, які технічні прийоми застосувати для перенесення проекту.

При виборі порядку дій із перенесення проекту в натуру прагнуть, щоб виконання їх було простим, задовольняло вимоги належної технічної точності й дотримувалася б при цьому економія часу і робочої сили. Тому перед перенесенням проекту в натуру проводять підготовчі роботи з метою встановлення порядку геодезичних дій.

Підготовчі роботи складаються з:

– огляду місцевості;

– визначення методів перенесення проекту в натуру;

– згущення опори для перенесення проекту;
– визначення величин ліній і кутів;
– нанесення надписів цих величин на проектному плані;
– складання робочого креслення перенесення проекту.

При огляді місцевості уточнюють можливості застосування різних методів перенесення проекту, перевіряючи наявність закріпленої в натурі опори для перенесення проекту і встановлюючи необхідність її згущення.

Якщо як опору використовуватимуть вершини кутів повороту ситуаційних контурів, то вибірковим порядком перевіряють відповідність цих поворотів на плані з натурою шляхом промірів між точками ситуації. Якщо розбіжності між результатами вимірювання ліній на плані й у натурі перевищують 1 мм, то ці точки не можуть бути використані як опора при перенесенні проекту.

Геодезичну основу згущують, якщо між зніманням і перенесенням проекту в натуру минуло багато часу, за який закріплені точки основи могли бути знищені, або існуюча основа негуста. Геодезичну основу згущують також перед складанням технічного проекту.

Одержання необхідних вихідних кутових та лінійних даних шляхом прокладання теодолітних ходів по межах масивів, де проектують ділянки, дасть змогу швидше й точніше скласти проект, спростити розробку робочого креслення, що прискорить і полегшить перенесення проекту в натуру. Час, затрачений на польові підготовчі роботи, надалі як правило, компенсується економією його при проектуванні й перенесенні проекту в натуру.

На рисунку 6.1 суцільні лінії, які виходять з точок *А*, *В*, *С*, *Д*, являють собою запроектовані межі полів сівозмін. Для перенесення їх у натуру вздовж сіножаті та чагарнику попередньо прокладають хід між пунктами зовнішньої межі землекористування (на рисунку він показаний переривчастою лінією) для того, щоб напрямки проектних меж (точки *А*, *В*, *С*, *Д*) на цей хід перенести в натуру тільки вимірювальним приладом. Одночасно з прокладанням теодолітного ходу знімають контури ситуації, що змінились. Прокладені теодолітні ходи обробляють і наносять на план у звичайному порядку.

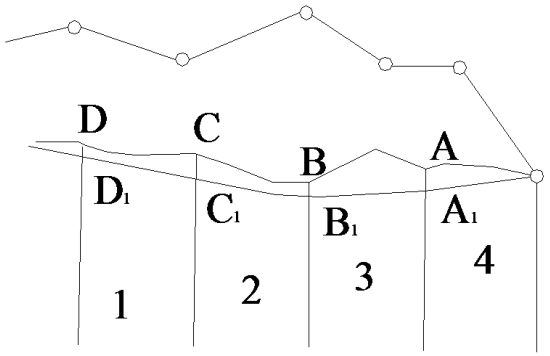


Рис. 6.1. Запроектовані межі полів сівозмін

Відповідно до розміщення полів та ділянок, передбаченого попереднім (ескізним) проектом, вдаються до детального обходу лише окремих ділянок, встановлюючи тим самим мінімально необхідний обсяг польової геодезичної підготовки. Іноді достатнім буде виміряти відстань між лісовою смугою й межею або дорогою, між кутом садиби і поворотною точкою межі землекористування, коли на ці лінії спираються інші запроектовані ділянки і коли потрібно знати точну їхню довжину для складання проекту та робочого креслення. Кут іноді визначають у натурі вимірюванням радіусів і стягування хорди, якщо в цей період немає теодоліта, з подальшим обчисленням кута за формулою:

$$\sin\frac{\alpha}{2}=\frac{a}{2b},$$

де α – довжина хорди, b – довжина радіуса (сторони рівнобедреного трикутника).

Польову підготовку деяких відокремлених ділянок, де розміщуються невеликі поля прифермерської чи овочевої сівозміни, інколи проводять завчасно, щоб використати одержані дані для складання технічного проекту. В деяких випадках вона може звестися лише до вимірювання у натурі його чотирьох або п’яти сторін і діагоналей, які розбивають ділянку на трикутники. У разі, якщо на окремі масиви, наприклад овочевих або спеціальних сівозмін і ділянок із криволінійними межами, потрібно скласти особливий план у більшому масштабі (1:2000, 1:5000), щоб забезпечити необхідну точність складання проекту і перенесення його в натуру, виконують польові роботи зі знімання такого масиву, визначивши точність прийнятого масштабу плану.

Зазначені підготовчі роботи здійснюють не тільки у випадках, коли застосовують точні способи складання проекту (аналітичний, графоаналітичний та ін), але й коли проектування проводять за допомогою планіметра, щоб забезпечити достатню точність площ ділянок, які проектують.

Оскільки значна частина геодезичних даних, одержаних при польовій підготовці, буде використана ще при складанні остаточного (технічного) проекту, доцільно здійснювати таку підготовку після складання ескізного проекту. Розміщення всіх полів і ділянок у цьому проекті подано досить чітко, тому на його основі легко вибрати способи складання остаточного проекту й визначити обсяг і конкретний зміст польових підготовчих робіт, необхідних як для складання проекту, так і для перенесення його у натуру.

Для перенесення проекту в натуру мензулою будують геометричну мережу в місцях розташування проектних точок згідно з правилами, передбаченими інструкціями та настановами для мензульного знімання. Для перенесення проекту мензулою ні кутових, ні лінійних величин попередньо не визначають, тому що їх беруть із плану при перенесенні проекту в натуру.

Довжини ліній, потрібні для перенесення проекту, визначають, якщо застосовують метод промірів, якщо кутомірний метод, то визначають величини кутів і довжини ліній.

Коли ж проектування проводили аналітичним способом, то величини кутів та ліній обчислюють у процесі проектування чи одержують шляхом додаткових обчислень і за планом не визначають. Якщо проектування здійснювали планіметром або планіметром у поєднанні з графічним способом, то величини кутів та ліній, необхідні для перенесення проекту в натуру, визначають за планом. При проектуванні графічним способом ті величини ліній, які знаходять обчисленням у процесі проектування, повинні бути використані для перенесення проекту.

Якщо на прямій лінії *AL* (рис. 6.2) на плані визначають відрізки a_1, a_2, …, a_5, то сума цих відрізків повинна бути ув'язана в довжині прямої AL, яка одержана з вимірів на місцевості, чи у довжині, взятій із плану, коли цю лінію на місцевості не вимірювали. Допустиму нев'язку в сумі цих відрізків установлюють, виходячи з умови. Проте кожен із відрізків і вся лінія будуть із похибою, тому в правій частині рівняння замість нуля одержимо величину нев'язки.

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 - AL = 0.$$

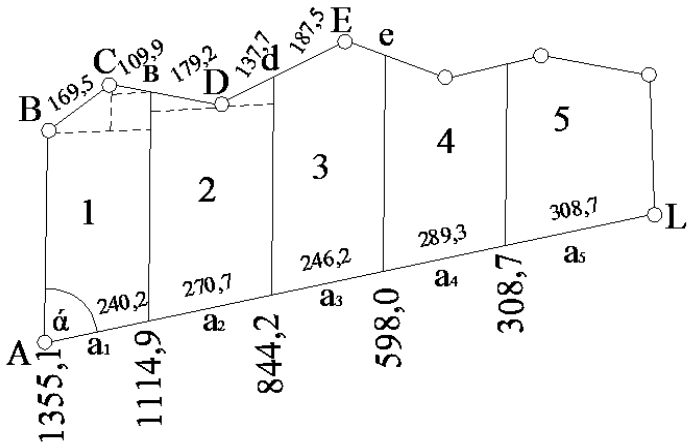


Рис. 6.2. Проектування графічним способом

Тоді, відповідно до теорії похибок вимірювань залежність між середньоквадратичними похибками кожної величини лівої частини наведеного рівняння і середньоквадратичної нев'язки виразиться за формулою:

$$m_{a1}^2 + m_{a2}^2 + m_{a3}^2 + m_{a4}^2 + m_{a5}^2 + m_{AL}^2 = m_f^2 .$$

Кожен із відрізків, а також вся лінія *AL* визначають з однаковою похибкою незалежно від їхньої довжини, тому, позначивши кожну похибку в лівій частині через *m*, матимемо:

$$m_f = m\sqrt{n+1},$$

де *n* – кількість відрізків.

Прийнявши середню величину похибки вимірювання відстані за масштабом, що дорівнює графічній точності, тобто 0,08 мм, одержимо середньоквадратичну величину нев'язки:

$$m_f = 0{,}08\overset{*}{\sqrt{n+1}}.$$

Прийнявши допустиму величину нев'язки, що дорівнює подвоєній середньоквадратичній, матимемо:

$$f_{\text{доп}} = (0{,}16\sqrt{n+1}) \text{ мм}. \qquad (6.1)$$

Для підвищення точності перенесення проекту в натуру, довжину прямої *AL*, якщо вона одержана не виміром на місцевості, а величина її, взята з плану, викликає сумнів, обчислюють за координатами точок *AL*. У такому разі нев'язка, крім похибок визначення промірів a_1, a_2,..., a_5 залежатиме ще від похибок нанесення точок *A* і *L* за координатами.

Середньоквадратичну похибку довжини лінії *ab* залежно від похибок крайніх її точок визначають за формулою (2.14):

$$m_{AL} = \sqrt{\frac{m_A^2 + m_L^2}{2}},$$

де m_A і m_L – середньоквадратичні похибки нанесення точок *A* і *L* за координатами. Вважаючи, що:

$$m_A = m_L = 0{,}18 \text{ мм},$$

одержимо: $m_{AL} = 0{,}18$ мм.

Величина 0,18 мм є середньоквадратичною похибкою. Допустиму похибку приймемо 0,36 мм. Оскільки величина 0,36 мм більша від величини 0,16 мм, для даного випадку допустима нев'язка в сумі відрізків, які визначають графічно за планом, буде:

$$f_{\text{доп}} = (0{,}16\sqrt{n+5}) \text{ мм}.$$

При визначенні лінії на плані враховують деформацію паперу, якщо величина поправки перевищує величину графічної точності (0,1 мм на плані). Якщо довжина прямої одержана з вимірів на місцевості, то до величини допустимої нев'язки, обчисленої за наведеною формулою, додають величину поправки за деформацію паперу.

---

* Застосування наведеної формули можливе у разі, якщо довжини промірів визначали незалежно один від одного.

Нев'язку в сумі відрізків, взятих із плану, при порівнянні із загальною довжиною лінії розподіляють двома способами:

1) порівну на кожен відрізок незалежно від його довжини. Такий порядок розподілу нев'язки має місце, оскільки похибки визначення відстаней за планом не залежать від довжини відрізків;

2) пропорційно до довжин відрізків. Такий порядок найзручніший тоді, коли поправку за деформацію паперу досить ввести лише на всю лінію, і при розподілі нев'язки за цим способом поправки за деформацію в окремі відрізки введуться автоматично. Якщо довжина лінії *AL* обчислена за координатами точок *A* и *B*, то, ув'язуючи у довжині цієї лінії суму довжин відрізків a_1, a_2, ..., a_5 пропорційно до довжин цих відрізків, автоматично враховують деформацію паперу.

У разі, якщо відрізків більше чотирьох, їхню довжину краще брати не кожного відрізка окремо, а спочатку першого a_1, потім першого і другого разом $a_1 + a_2$, після цього $a_1 + a_2 + a_3$ і т. д., одночасно вводячи в них поправку за деформацію паперу. Кожен відрізок визначають шляхом вирахування попереднього вимірювання з наступного. Такий спосіб графічного обчислення відстаней меншою мірою порушить паралельність ліній ділянок.

Одержану нев'язку (якщо вона допустима) розподіляють з округленням до десятих частин метра, а при масштабі 1:25 000 і дрібніше – до цілих метрів.

Для забезпечення паралельності протилежних сторін ділянок після одержання відрізків a_1, a_2, ... вимірюють відрізки *Cb*, *Dd*, ... за такими формулами:

$$Cb = \frac{a_1 \sin((AL) - (AB)) - BC \times \sin((CB) - (BA))}{\sin((BA) - (CD))},$$

$$bD = CD - Cb,$$

$$Db = \frac{a_2 \sin((AL) - (AB)) - bD \times \sin((BA) - (CD))}{\sin((ED) - (BA))}.$$

У цих формулах величини (*CB*), (*BA*), (*AB*), ... – дирекційні кути ліній відповідно *CB*, *BA*, *AB*, ... Правильність обчислень відрізків *Cb*, *Dd*... контролюють їхнім графічним визначенням за планом.

Якщо основою для перенесення проекту є вершини кутів контурів ситуації, то довжини відрізків ліній на плані визначають і ув'язують у загальній довжині лінії з округленням до цілих метрів, починаючи з масштабу 1:10 000 і дрібніше.

Крім поправок за деформацію паперу, в довжини проектних ліній перед перенесенням проекту в натуру вводять ще дві поправки: першу – за перенесення лінії з площини проекції Гауса (якщо план складено у цій проекції) на місцевість, цю поправку визначають за формулою і завжди вводять зі знаком мінус; другу поправку – за нахил ліній до горизонту. Оскільки шляхом

обчислень на плані одержують їхні горизонтальні прокладення, для перенесення цих ліній D на похилій місцевості до горизонтальних прокладень визначають поправки за нахил зі знаком плюс, керуючись горизонталями плану.

Так, визначивши горизонтальне прокладення S і за горизонталями плану перевищення h між точками з однорідним схилом, поправку визначають за формулою:

$$\Delta S = D - S = D - \sqrt{D^2 - h^2} = D - D\sqrt{1 - \frac{h^2}{D^2}} \approx$$

$$\approx D - D(\frac{h^2}{2D^2}).$$

звідки, замінивши в останньому рівність D на S_2 одержимо:

$$\Delta S \approx \frac{h^2}{2S}. \tag{6.2}$$

Для обчислення поправки можна використати і таку формулу:

$$\Delta S \approx 2S \times \sin^2 \frac{\nu}{2},$$

яку при вираженні в градусах можна представити так:

$$\Delta S \approx \frac{2S\nu^2}{4 \times 57{,}3^2} \approx \frac{1{,}5\nu^2}{10000} S, \tag{6.3}$$

а якщо відомий нахил $i = h/S$, то підставимо $h = iS$, й матимемо:

$$\Delta S \approx \frac{i^2}{2} S. \tag{6.4}$$

Величини обчислених поправок за нахил надписують над відповідними промірами на робочому кресленні й враховують їх при відкладенні промірів на місцевості.

Якщо проектні лінії визначають на плані після проектування графічним або механічним способом, то останні дві поправки доцільно вносити лише у разі, якщо вони значущі у порівнянні з точністю масштабу, що буває дуже рідко. Проте після одержання цих ліній обчисленням, при проектуванні аналітичним способом уведення обох поправок при кутах $\nu > 1{,}5°$ часто необхідне.

Нерідко для перенесення в натуру проектного теодолітного ходу координати вершин цього ходу, крім початкової й кінцевої точок, визначають графічно на плані. Розв'язуючи за координатами зворотні геодезичні задачі, одержують дирекційні кути і горизонтальні прокладення сторін.

Прийнято вважати, що цей захід забезпечить потрібну точність робіт із перенесення проекту в натуру. Проте, він доцільний лише у тому разі, коли є можливість перенести проект у натуру за одержаними таким шляхом кутами і лініями на великому відкритому масиві ріллі, коли межі проектованих ділянок не збігаються з існуючими контурами угідь, лісосмуг, присадибних ділянок, межами доріг, каналів тощо.

Оскільки точність положення вказаних об'єктів на плані характеризується середньоквадратичною похибкою 0,4 мм, при прокладанні теодолітного ходу незбіжність точок і ліній ходу з аналогічними точками та лініями місцевості сягатиме до 1 мм на плані. При цьому лінії, які повинні проходити поряд із дорогою, лісосмугою чи присадибними ділянками, будуть на місцевості ближче або далі від цих меж, іноді перетнуть їх, відрізуючи, наприклад, кінці присадибних ділянок. Щоб цього не сталося, потрібно заздалегідь мати на плані нанесену геодезичну основу й спиратися на неї при складанні робочого креслення для перенесення проекту в натуру. Величини кутів і ліній на проектному плані надписують одночасно з проектуванням чи визначенням цих величин на плані. Всі надписи здійснюють олівцем.

Складання робочого (розбивочного) креслення передбачає такий порядок перенесення проекту в натуру, який забезпечує найвищу продуктивність праці на польових роботах і дає можливість виконати роботу з потрібною точністю.

Робочі креслення складають тушшю на восківці в масштабі проектного плану тільки на ті частини землекористування, з яких проект переноситимуть в натуру протягом 1–3 робочих днів (щоб уникнути псування всього робочого креслення в польових умовах).

Якщо проект нескладний, то робоче креслення може бути складено схематично на аркуші паперу. На нього наносять лише елементи, необхідні для перенесення проекту в натуру, а саме:

1) проектні межі;

2) величини кутів і ліній, які потрібно побудувати і прокласти у натурі;

3) пункти геодезичної основи, що можуть бути використані при перенесенні проекту;

4) контури ситуації, які полегшують знаходження в натурі точок основи або слугують основою для перенесення проекту;

5) номери полів і ділянок.

На робочому кресленні чорною тушшю прийнято зображати всі існуючі на місцевості межі, контури угідь, умовні знаки (дуже розріджені) й надписи геодезичних даних (румби, азимути ліній), які стосуються існуючих меж, а червоною тушшю – все те, що проектують: межі, номери ділянок, геодезичні дані. При цьому нові (проектні) теодолітні ходи, допоміжні магістральні лінії й геодезичні дані, які стосуються їх (кути, румби, заходи ліній), краще показувати іншим кольором (синім, фіолетовим). Це забезпечує чіткість креслення і легкість орієнтування в його геодезичних даних.

У добре продуманих кресленнях є певний порядок в розташуванні надписів: довжину відрізків між межами ділянок надписують уздовж цих відрізків – із боку ділянок, яких вони стосуються. Проміри до меж ділянок роблять наростаючим підсумком за ходом. Надписують їх біля граничної лінії (вздовж неї), до якої вони належать, так, щоб було зручно читати їх, зорієнтувавши креслення за ходом.

За теодолітним ходом записують кути, румби й довжини ліній. Розміщенням на кресленні подвійних даних (розмірів між межами ділянок і промірів наростаючим підсумком, кутів та румбів) забезпечуються контроль і можливість відновлення у полі затертих надписів, а також можливість зручного маневрування в разі непередбаченої зміни порядку виконання польових робіт. Тоді за відрізками легко визначити проміри у зворотному напрямку ходу.

При складанні креслення продумують маршрут руху в процесі виконання польових робіт і на кресленні показують стрілками. Одночасно з цим умовним знаком роблять позначки про залишення на точках віх, потрібних як орієнтири при прокладанні бічних ходів і ліній, що слугують основою для розбивки інших ділянок. В окремих випадках, коли перенесення проекту в натуру не відрізняється складністю й виконавець у достатній мірі ознайомлений із місцевістю і станом основи, робоче креслення можна скласти у вигляді схеми з необхідними геодезичними даними для перенесення проекту в натуру. Всі лінійні дані при цьому визначають вимірником на плані (планшеті) у полі.

На робоче креслення в процесі перенесення проекту наносять усі визначені на планшеті точки стояння мензули й проміри, за якими визначали проектні точки. Тому робоче креслення у всіх випадках є технічним документом (так само, як абрис, польовий журнал та ін.).

Чим ґрунтовніше проведена підготовка до перенесення проекту в натуру, тим швидше і з меншими похибками виконується польова робота.

6.3. Організація роботи з перенесення проекту в натуру

Після складання робочих креслень продумують усю організацію польових робіт із перенесення проекту. Ще за ескізним проектом визначають необхідну кількість межових знаків (залізобетонні або дерев’яні стовпи, залізні, гончарні чи азбестові труби, обрізки кутового заліза).

Якщо для перенесення проекту потрібно прокласти нові теодолітні ходи значної довжини або виміряти довжини опорних ліній, то цю роботу виконують заздалегідь, закріпивши поворотні точки тимчасово кілками з обкопуванням їх. Коли необхідна підготовка закінчена, проект переносять, одночасно закріплюючи поворотні точки ділянок знаками. До початку роботи виконавець ознайомлює працівників з їхніми обов’язками, вимогами до виконання робіт.

При достатній надійності геодезичної основи для перенесення проекту, якщо не потрібно повторних вимірювань, розрахунків і внесення поправок до розмірів сторін ділянок, вимірювальні роботи виконують, як правило швидко,

затримується лише розставлення знаків. Межові знаки ставлять у зазначених точках – на місці кілочка або прикопки. В цих точках залишають знаки, на як олійною фарбою надписують номери полів, де ці знаки встановлюють.

Щоб розміщення знаків у вказаних точках було точним, за однією лінією (у створі) місце встановлення кожного знака вибирають на перетині або в створі. Для цього на відстані 2–3 м від точки ставлять чотири тонких кілочки, так, щоб місце розташування знака було в точці перетину з'єднаних ліній. Після цього копають яму і ставлять у неї знак, перевіряють його положення за кілочками. Іноді замість кілочків роблять на землі борозенки, а до однієї з них, куди повинна бути спрямована грань між надписами номерів полів, прокопують ще борозенку у вигляді стрілки (рис. 6.3). Тоді можна точно поставити знак, правильно зорієнтувавши його відповідно до надписів.

Лінії при перенесенні проекту відмірюють від однієї твердої точки до другої, при цьому місця розташування знаків на межах полів або ділянок визначають за промірами, величини яких беруть з робочого креслення. Щоб уникнути похибок, відліки на вимірювальному приладі знімають двічі: до прикопки місця постановки знака і для контролю після прикопки. Якщо проектні лінії проходять на місцевості з кутом нахилу понад 1,5°, то в проміри вносять поправки.

При перенесенні проекту в натуру знімають нові контури угідь, що з'явилися після знімання чи коригування плану.

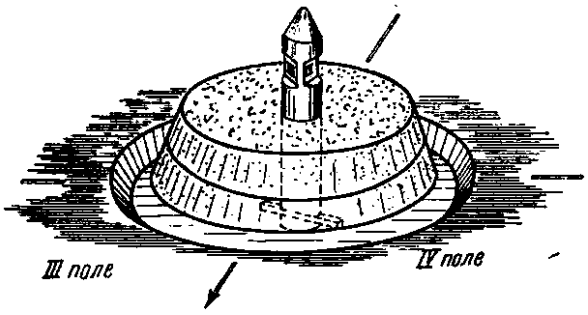


Рис. 6.3. Борозенка у вигляді стрілки

Результати знімання наносять на план і за ними уточнюють площі проектних ділянок та угідь.

Знаки для закріплення меж ділянок на місцевості виготовляють завдовжки не коротше 1 м і завтовшки близько 0,1 м, що дасть змогу робити надписи номерів полів, на межі яких буде встановлений такий знак. На деяких знаках надписи роблять із трьох чи чотирьох сторін тоді, коли в одній точці сходяться межі трьох або чотирьох полів чи ділянок. У нижній частині знака роблять розширення, вставляють поперечну хрестовину, яка перешкоджає витягуванню знака із землі. Знаки обкопують курганами заввишки 0,3–0,5 м і діаметром 1,5–2 м. Навколо кургану прокопують канаву, землю з якої насипають на курган. Усі межі між полями орють в одну борозну. Орють також межі доріг і скотопрогонів.

6.4. Перенесення проекту в натуру способом промірів

Проект переносять у натуру за робочим кресленням, складеним при підготовчій роботі, на якому вже повинні бути вказані всі проміри, що визначають положення проектних точок.

Згідно з рисунком 6.2 перенесення проекту починають на виході із землекористування від точки *B*. На точці *A* встановлюють віху. Потім провішують лінію *LA*, промірюють її і за відліками, в створі лінії забивають кілки або роблять прикопки, на місці яких потім ставлять межові знаки.

Якщо лінія проходить на похилій місцевості, то перед розбивкою коло пересувають, а з ним і вимірювальний прилад уперед на величину поправки за нахил. Якщо проектування виконували графічним або механічним способом і не проводили обчислення для дотримання строгої паралельності чи перпендикулярності сторін, то поправку на нахил вводять у кути нахилу, що перевищують 5°, якщо аналітичним способом, – то 1,5°.

У такому ж самому порядку вимірюють лінію від точки *C* до точки *D*, від точки *D* до точки *E* і т. д. Зрозуміло, що з вимірювальним приладом проходять тільки по тих лініях, на які виходять проектні межі, тому, наприклад, між точками *B* і *C* промірів не роблять.

Унаслідок похибок вимірювань довжина лінії *LA*, одержана проміром при перенесенні проекту в натуру, відрізнятиметься від довжини, зазначеної на робочому кресленні. Різниця у довжині лінії *LA*, виміряної при перенесенні проекту, з раніше визначеною довжиною не повинна перевищувати розбіжності, що допускається між двома вимірами лінії.

Якщо лінія *LA* визначена графічно за планом, що значно знижує точність роботи, то розходження буде наслідком наступних похибок (вважаємо, що поправки за нахил і перенесення лінії з плану в проекції Гауса на місцевість враховуються при вимірюванні ліній):

1. Обчислення координат точки *L* відносно точки *A* або, навпаки, точки *A* відносно точки *L*.

Ця похибка, очевидно, залежатиме від довжини найкоротшого ходу, яким пов’язані ці дві точки, у даному разі ходу *ABCDE*. . . *L*, довжина якого нехай становить 2200 м.

Відносна нев’язка за ходом, допущена інструкціями, дорівнює 1/1500 від його довжини. Отже, похибка положення точки *B* відносно точки *A* буде: 2200/1500 = 1,5 м.

2. Довжини лінії *AL* залежно від похибок крайніх її точок *A* і *L*, нанесених на план.

Цю похибку визначають за формулою і вона становить 0,18 мм, а гранична – 0,36 мм (3,6 м при масштабі 1:10 000).

3. Визначення лінії за планом (гранична похибка буде 0,16 мм, або 1,6 м при масштабі 1:10 000), не беручи до уваги частково не врахованої похибки за деформацію паперу.

4. Вимірювання лінії в натурі при перенесенні проекту. Гранична величина цієї помилки у 2 рази менша від розбіжності, що допускається між двома вимірами. Для сприятливих умов вимірювання при довжині лінії LA = 1355,1 м ця похибка буде 0,4 м.

Загальну граничну похибку, або розбіжність, яка допускається між довжиною виміряної лінії й записаною на робочому кресленні, визначають за формулою:

$$f_1 = \sqrt{1{,}5^2 + 3{,}6^2 + 1{,}6^2 + 0{,}5^2} = 4{,}2 \text{ м.}$$

Якщо лінія LA обчислена за координатами точок L і A, то розбіжність буде наслідком впливу тільки першої й останньої з перелічених похибок і становитиме:

$$f_2 = \sqrt{1{,}5^2 + 0{,}5^2} = 1{,}6 \text{ м.}$$

Одержану розбіжність розподіляють пропорційно до довжин промірів a_1, a_2, a_3, a_4, a_5. На величину поправок у створі лінії AL пересувають кілки і на їхньому місці ставлять межові знаки.

Якщо проектування проводили графічним або механічним способом без обчислення, що забезпечує паралельність і перпендикулярність сторін ділянки, то розбіжності, яка не перевищує точності масштабу (0,1 мм на плані), не розподіляють. Коли ж розбіжність становить подвоєну точність масштабу, то поправки вводять у положення двох останніх проектних точок. При розбіжності, що перевищує подвоєну точність масштабу, поправки вводять пропорційно до суми промірів від початку проектної лінії. Якщо остання ділянка не має ні паралельних, ні перпендикулярних сторін, то нев'язку не розподіляють (за умови її допустимості), але уточнюють площі ділянок.

Коли ж проектування виконували аналітичним способом або здійснювали обчислення, які забезпечують сувору паралельність і перпендикулярність сторін ділянок, то розбіжність, що не перевищує 1/1000 ширини (проміру) ділянок, які проектують не ув'язують. Розбіжність, що перевищує допустиму, розподіляють переміщенням кіл пропорційно до довжин промірів.

Щоб уникнути великих нев'язок у довжинах вимірюваних ліній і ув'язки промірів на місцевості, краще такі лінії визначати на місцевості до складання остаточного проекту і робочого креслення. Паралельність буде дотримана, якщо проектні лінії встановлювати за напрямками, що задаються теодолітом від лінії AL під кутом α, а знаки в точках b, d, e... ставити у місцях перетину заданих напрямків з існуючими межами і потім вимірювати відрізки Cb, dD та ін. Проте цей спосіб відрізняється трудомісткістю, тому його можна застосовувати лише тоді, коли межові знаки ставлять у перетинах заданих.

Вище зазначалося, що знаки на проектних точках установлюють у створі лінії, на яку спираються проектні межі. Однак, якщо місце встановлення знака випадає на дорогу, в річку, струмок, болото тощо, то знак ставлять осторонь від цієї опорної лінії, але на проектній межі, як показано на (рис. 6.4), – у точках B, C, D, E, F.

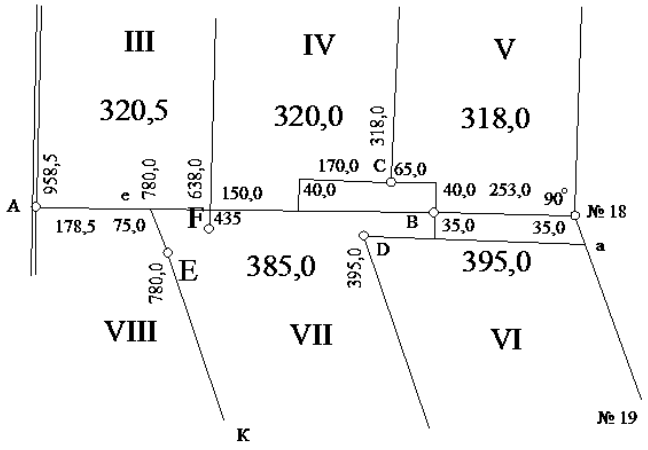


Рис. 6.4. Перенесення проекту в натуру методом промірів

Коли опорна лінія перетинає місця, незручні для вимірювання і розміщення знака (болото, вимоїна), що не було враховано при складанні робочого креслення, для правильного встановлення знаків на межі між ділянками доводиться вдаватися до допоміжного прийому. Так, знак у точці *С* може бути встановлений шляхом виносу опорної лінії на 40 м убік, щоб обійти перешкоду. Винесення здійснено за перпендикуляром, потім на потрібній відстані ставлять знак у точці *С*, а винесену лінію знову переносять у створ лінії № 18 – *А*. У точці *Е* знак ставлять за перпендикуляром до опорної лінії на перетині межевої лінії й контуру ріллі, а довжину перпендикуляра вимірюють. Для встановлення знака в точці *Е* роблять на опорній лінії необхідний промір (780,0) і від одержаної точки в створі лінії *ЕК* на перетині з контуром знаходиться точка *Е*. Довжину відрізка до неї від опорної лінії вимірюють і надписують на робочому кресленні.

Знак у точці *D* ставлять в кінці виміру (395,0), зробленого від точки а по опорній лінії, зміщеній на 35 м (див. рис. 6.4). Після перенесення проекту на робочому кресленні виправляють червоною тушшю всі лінії, в які вводили поправки при перенесенні проекту в натуру.

Окремі випадки перенесення проекту в натуру методом промірів.

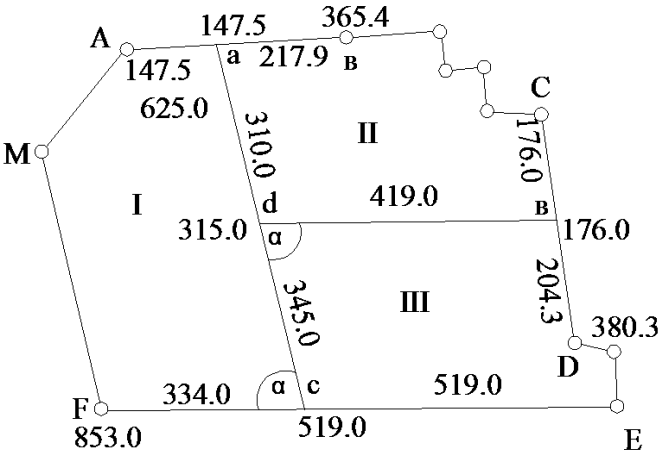


Рис. 6.5. Робоче креслення перенесення в натуру трипільної сівозміни

На (рис. 6.5) зображено робоче креслення для перенесення у натуру проекту трьох полів овочевої сівозміни. Проектні межі полів спираються на лінії раніше прокладених теодолітних ходів. Згідно з цим кресленням проект переносять у натуру в такому порядку:

1) від точки *A* у напрямку до точки *B* одержують точку *a* (в даному разі одночасно з одержанням положення проектних точок у натурі можна встановлювати знаки), в якій встановлюють віху; в точці *B* контрольний відлік за вимірювальним приладом повинен бути 365,4 м;

2) від точки *C* в напрямку до точки *D* одержують точку *b*, в якій потрібно встановити віху, але для контролю домірюють лінію до точки *D*, одержуючи відлік за вимірювальним приладом 380,3 м;

3) від точки *E* у напрямку до точки *F* одержують точку с, але для контролю продовжують вимірювати лінію до точки *F*, одержуючи відлік 853,0 м;

4) від точки *c* у напрямку до точки *a*, де була поставлена віха, одержують точку *d*, але для контролю продовжують вимірювання лінії до точки *a*, одержуючи відлік 625,0 м. Для контролю правильності положення проектних точок *c*, *d*, *a* потрібно на місцевості виміряти лінію *db*; саме для цієї мети в точці *b* поставлена віха.

Щоб забезпечити паралельність довгих меж полів, якщо їх проектували механічним або графічним способом, проміри уточнюють. Наприклад, щоб лінія *ac* була паралельною лінії *MF*, відрізок *cF* обчислюють за відрізком *Aa* (147,5 м), взятому з плану, використовуючи формулу:

$$cF = \frac{Aa \times \sin((MF) - (AB)) + AM \times \sin((AM) - (MF))}{\sin((FM) - (EF))}.$$

Значно складніших обчислень потребує забезпечення паралельності ліній *Ec* і *bd*, і було б краще проводити проектування аналітичним способом. Однак для забезпечення паралельності ліній, доцільніше буде в одержаній точці с на місцевості побудувати теодолітом кут α = (*FM*) – (*EF*) (для правильної побудови кута звертають увагу на провішування лінії *EF* і проводять його або за допомогою теодоліта, або бінокля); потім, відмірявши відстань *cd* від точки *c*, побудувати в точці *d* той же кут α. У такому разі вимір на лініях *AB* і *CD*, а також вимір *da* матимуть контрольне значення. Після одержання на місцевості точок *b* і *a* ці виміри заносять у робоче креслення, а взяті за планом закреслюють. За новими промірами уточнюють площі полів.

Визначимо, які похибки одержують у розташуванні меж полів, якщо проектування проводили механічним або графічним способом, а довжини сторін і відрізків визначали графічно, і які похибки будуть у довжинах ліній, виміряних на місцевості та взятих із плану.

Наприклад, середньоквадратична похибка для лінії *ca* залежить від:

1) похибок графічного визначення положення точок *c* і *a* на плані за формулою:

$$m_{ca} = \sqrt{\frac{m_c^2 + m_a^2}{2}},$$

де m_{ca}, m_c і m_a – похибки довжини лінії *ca* та положення точок *c* і *a*;

2) похибки графічного визначення лінії *ca* на плані, що становить 0,08 мм, або 0,8 м на місцевості при масштабі 1:10 000;

3) похибки виміру її при перенесенні проекту в натуру, яка становить 0,2 м (для лінії завдовжки 625 м);

4) похибки взаємного положення точок *c* і *a*, що є результатом впливу похибок вимірювань ліній і кутів ходу *cFMAa* в натурі та довжини ходу, тобто 0,3 м (відносна похибка *P*/3000 взята тому, що гранична дорівнює 1/1500; граничну ми приймаємо такою, яка дорівнює подвоєній середній; якби положення точки *a* вийшло проміром від точки *B*, то слід було б прийняти довжину ходу *cFMBa*).

Похибка m_a у свою чергу, залежить від похибки графічного визначення відстані *Aa*, що дорівнює 0,8 м, і похибки нанесення точки *A* на план за координатами, яка дорівнює 1,8 м.

Загальна похибка становить:

$$m_a = \sqrt{0{,}8^2 + 1{,}8^2} = 2 \text{ м}.$$

Похибка m_c залежить від похибки графічного визначення відстані *Ec*, що дорівнює 0,8 м, і похибки нанесення точки *E* на план за координатами, яка дорівнює 1,8 м.

Загальна похибка m_c також буде 2 м.

Тоді похибка лінії *ca* становитиме:

$$m_{ca} = \sqrt{\frac{2{,}0^2 + 2{,}0^2}{2}} = 2 \text{ м}.$$

Середнє розходження лінії *ca*, виміряної в натурі й узятої за планом графічно з урахуванням чотирьох перерахованих похибок, становитиме:

$$m_{ca_0} = \sqrt{2{,}0^2 + 0{,}8^2 + 0{,}2^2 + 0{,}3^2} = 2{,}2 \text{ м},$$

а граничне розходження, якщо прийняти його рівним подвоєному середньому буде:

$$\Delta_{ca} = 4{,}4 \text{ м}.$$

Приблизно з такою ж самою точністю визначатимуть на місцевості проектні точки, а непаралельність проектних ліній наближено виразиться середньоквадратичною похибкою, що обчислюють за формулою:

$$m_a \approx \frac{2{,}2 \times 3440'}{625} \approx 12'$$

При графічному визначенні сторін полів одержують неточні похибки.

Якби проектування проводили аналітичним способом і відстань *ca* була обчислена за координатами точок *c* і *a*, то розходження залежали б від двох останніх похибок і дорівнювали б:

$$m_{ca1} = \sqrt{0{,}2^2 + 0{,}3^2} = 0{,}4 \text{ м},$$

а непаралельність меж становила б 2–3'.

Приблизно такі ж похибки будуть при обчисленні інших бічних сторін полів залежно від перших, узятих графічно.

Отже, при будь-якому способі складання проекту можна обчисленнями або побудовою кутів на місцевості забезпечити паралельність чи перпендикулярність сторін із потрібною точністю.

Проект можна переносити вимірювальним приладом і за наявності ламаних проектних меж, особливо, якщо на території землекористування багато контурів ситуації та об'єктів місцевості, які можуть бути використані як і опорні при перенесенні проекту в натуру. Проте похибки положення ситуаційних точок на плані (≈ 0,4 мм) є значно більшими за похибки положення точок теодолітних ходів (з урахуванням похибок нанесення їх на план за координатами ≈ 0,23 мм), що може викликати недопустиме порушення паралельності сторін ділянок, якщо не застосувати прийоми, які забезпечують цю паралельність.

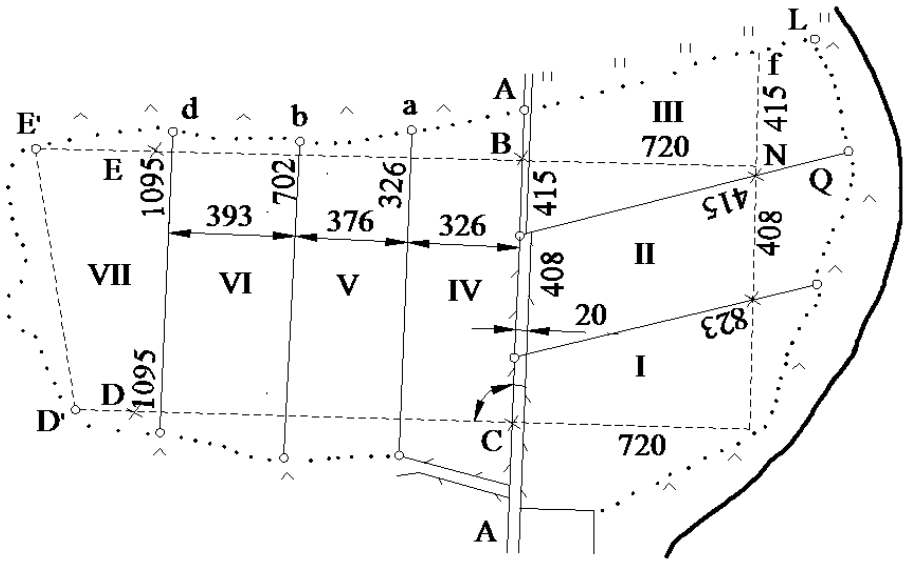


Рис. 6.6. Перенесення проекту в натуру методом промірів

На рис. 6.6 показано приклад перенесення в натуру проекту способом промірів, що забезпечує сувору паралельність між довгими сторонами

полів. Опорними є лінія *AK*, встановлена між твердими точками ситуації *A* і *K*, та лінія *AL*. Поля невеликої овочевої сівозміни запроектовані за допомогою планіметра.

Робота з перенесення проекту починається з провішування лінії *AK* і встановлення на ній точок *B* та *C*, через які зручно побудувати допоміжні перпендикуляри *BE*, *CB*, *CF* і *BN*. Потім із точки *B* у напрямку *BE* за допомогою екера опускають перпендикуляр до лінії *AK*, відмірюють на ньому відстані, взяті з плану, що дорівнюють ширині полів IV, V і VI. На кожній межі поля одержану точку за перпендикуляром до лінії BE переносять у точку перетину межі з контуром ріллі, де і ставлять знаки (точки *a, b*, *d* та ін.). Після цього переходять до точки *A*, відмірюють від неї взяті з плану відрізки на лінії *AK* і встановлюють знаки на межі між полями III, II та I. Далі опускають перпендикуляр *CD* і відкладають за ним ту ж саму ширину полів, що і на лінії *BE*. З одержаних точок провішуванням переносять межу в місця перетину з контуром ріллі й ставлять знаки на південних межах полів IV, V, VI, VII. Із точки *C* опускають перпендикуляр *CF*, вимірюють його, і ставлять віху в точці *F*. Опускають перпендикуляр у точку *B* і ставлять віху в точці *N* на відстані *CF*. Потім продовжують лінію FN до перетину з *AL* й від точки *F* за лінією *fNF* відмірюють відрізки 415 і 408 м. Одержані на кінцях цих відрізків точки і раніше поставлені знаки на лінії *AK* визначають напрямок меж між полями III та II, II і I. Провішуванням на себе продовжують ці межі до точок перетину їх із контурами ріллі біля річки й ставлять тут знаки.

Таким простим способом, без допоміжних розрахунків і без застосування теодоліта, забезпечується точне дотримання паралельності довгих сторін полів сівозміни, що і є в такому разі головною вимогою.

У багатьох випадках виникає необхідність забезпечити достатньою точністю не тільки паралельність й перпендикулярність сторін полів, але й їхніх площ, особливо, якщо проект складається механічним або графічним способом на плані в масштабі 1:25 000.

Площі полів та інших ділянок можуть бути уточнені за даними вимірювань, здійснених на місцевості й одержаних при перенесенні проекту. Так, на прикладі, наведеному на рисунку 6.6, площі полів IV, V і VI складаються з прямокутників, довжина й ширина яких відомі, та невеликих ділянок, розташованих за лініями перпендикулярів *CD* і *BE*.

У полі IV це дві трапеції, основи яких виміряні при перенесенні проекту, а висота дорівнює ширині поля (326 м). Отже, площа цього поля, обчислена як сума площ прямокутника і двох трапецій, буде точно відповідати розміру його сторін.

У полях V та VI, що мають криволінійні межі, додатково від перпендикулярів до знаків потрібно виміряти перпендикуляри до характерних точок вигину межі. Тоді криволінійні ділянки за лініями перпендикулярів *CD* і *BE* розіб'ються на невеликі трапеції, основи й висоти яких будуть визначені в натурі. Площі полів V та VI обчислюють, як і площу поля IV.

Для визначення площі поля VII потрібно продовжити перпендикуляри *CD* і *BE* до перетину їх із контуром ріллі у точках *D′* і *E′*, виміряти їхню довжину від межі поля VI і, зробивши проміри лінії *D′E′*, зняти відстань до характерних точок вигину контуру ріллі. При цьому будуть одержані всі необхідні дані для обчислення площі поля VII. Вона складається з площі трапеції заввишки, як і *BC*, та площ невеликих трикутників і трапецій, розміщених за її межею.

Дещо складніше визначити площі в полях I, II та III. Площу поля III можна відразу обчислити як площу трапеції, оскільки її верхня основа дорівнює *AL*, і вона буде виміряна в натурі, а нижня дорівнюватиме *AF* плюс проміри до знака *Q* від точки перетину з відліком 415 м. Висота цієї трапеції (поля III) може бути визначена, виходячи з відношення висоти паралелограма (720 м) до його сторони *Af*. Тоді:

$$h_{\text{III}} = \frac{415 \times 720}{Af}.$$

Площу поля III обчислюють за сумою основ і висотою. У такому ж порядку визначають площу поля II, де додатково повинні бути виміряні основа й висота невеликого трикутника, розташованого за трапецією.

Перше поле, як видно з креслення, складається з двох трапецій і двох трикутників, обчислення площ яких не становить труднощів.

Наведеними порівняно простими додатковими діями можна одержати точні площі полів із криволінійними межами. Це простіше й швидше, ніж проведення знімання і складання плану землекористування у великому масштабі.

Середньоквадратична похибка положення точок *A*, *K* і *L* за такого способі становить 0,4 м (тобто 4 м на місцевості при масштабі 1:10 000). Похибки перенесення в натуру всіх інших проектних точок відносно точок *A*, *K* і *L* будуть майже такого ж самого порядку. Внаслідок похибок виникнуть відповідні спотворення площ проектних ділянок через похибки знімання зовнішнього контуру ріллі, але буде дотримана сувора паралельність ліній.

Точність прокладання паралельних ліній полів IV, V та VI залежатиме від довжини *BC* і точності вимірювання ліній *BE* та *CD*. Наприклад, якщо похибка кожного з промірів ширини поля IV буде 1/2000 від довжини лінії, а абсолютна похибка – 326/2000 ≈ 0,16 м, то вплив похибок двох промірів на паралельність сторін цього поля виразиться величиною 0,16 $\sqrt{2}$ = 0,23 м, а для відстані *BC* ≈ 900 м дасть кутову величину, що характеризується непаралельністю сторін:

$$m_a = \frac{0{,}23 \times 3400'}{900} \approx 1'.$$

Похибки побудови перпендикулярів у точках *B* і *C* за допомогою екера не позначаться на паралельності сторін проектних ділянок. Вони зумовлять зменшення дійсної ширини ділянок лише на величину:

$$\Delta S = 2S \times \sin^2 \frac{\delta}{2},$$

де δ – похибка побудови перпендикуляра. При S = 326 м, δ = 7', величина ΔS = 0,0007 м = 0,7 мм на місцевості.

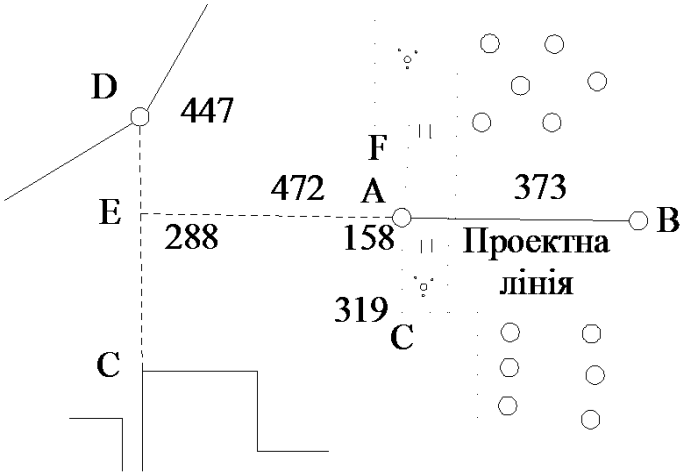


Рис. 6.7. Перенесення проекту в натуру
за допомогою вимірювального приладу

Бувають випадки, коли проект переносять в основному вимірювальним приладом, і для перенесення лише невеликої частини проектної лінії на закритій місцевості потрібне використання теодоліта та вимірювального приладу (наприклад, прорубування просіки), то задача також може бути розв'язана за допомогою одного приладу. Такий випадок зображений на (рис. 6.7). Між точками *A* і *B*, що знаходяться на плані, але відсутні в натурі, необхідно прорубати просіку. Для цього за допомогою тільки вимірювального приладу лінію *AB* слід продовжити по відкритій частині місцевості до перетину з іншою лінією, положення якої легко визначається за планом і в натурі. На рисунку 6.7 такою лінією є лінія *CD*, яка опирається на кут землекористування і межовий пункт *D*. Продовження лінії *AB* перетинається з лінією *CD* у точці Е, що знаходиться на відстані 288 і 158 м від точок *C* і *D*.

Точка *A* може бути одержана шляхом промірів від ситуаційних точок *F* і *G*. Провішуванням лінії *EA* на себе матимемо напрямок просіки *AB*. Можна встановити, з якою точністю буде одержано напрямок проектної лінії *AB* і з якою похибкою буде положення кінця проектної лінії, тобто точки. Чим точніше визначено положення точок *C*, *D*, *E* і *F*, а отже, й точок *E* і *A*, й чим довша лінія *EA*, тим точніший результат перенесення проектної лінії *AB* у натуру.

Якщо точки *C*, *D*, *E* і *F* зняті як ситуаційні й середньоквадратична похибка положення їх на плані масштабу 1:10 000 становить 4 м, а відстані

CE, *ED*, *FA* і *AG* визначені графічно за планом, то похибка положення точок Е й А буде результатом трьох похибок:

– похибки положення ситуаційних точок, що дорівнює 4 м;

– похибки графічного визначення відстані, яка дорівнює 0,8 м;

– похибки вимірювання ліній при перенесенні проекту в натуру. Ця похибка мала порівняно з двома першими, тому нею можна знехтувати.

Загальна похибка положення точок *E* і *A* буде:

$$m_E = m_A = \sqrt{4^2 + 0{,}8^2} = 4{,}1 \text{ м}.$$

Похибка напрямку *EA*, а отже, й *AB* (не враховуємо похибки провішування, яка дуже мала порівняно з попередніми похибками) за формулою буде:

$$\delta'' = \frac{3438'}{472}\sqrt{\frac{4{,}1^2 + 4{,}1^2}{2}} = 30''.$$

Із формули видно, що чим довша орієнтовна відстань *EA*, тим точніший напрямок лінії.

Похибка положення точки *B* складатиметься з двох похибок (не враховуючи похибок визначення довжини лінії за планом і вимірювання її в натурі):

– похибки положення точки *A*, що становить 4,1 м,

– помилки напрямку δ' на відстань, яка дорівнює 373 м, що визначається третім членом формули:

$$m = \frac{373 \times 30'}{3438'} = 3{,}2 \text{ м}.$$

Очевидно, якби відстань *AB* була такою, як *EA*, то похибка становила б 4,1 м, і в скільки разів *AB* більша за *EA*, у стільки разів буде більшою похибка *m*. Тому не слід допускати, щоб орієнтовна лінія була коротшою від проектної.

Загальна середньоквадратична похибка положення точки *B* становитиме:

$$m_B = \sqrt{4{,}1^2 + 3{,}2^2} = 5{,}2 \text{ м},$$

а гранична – 10,4 м.

Як бачимо, ця похибка дуже велика, тому такий спосіб перенесення проектних ліній у натуру слід застосовувати лише в окремих випадках.

Проте, якщо точки *D*, *C*, *F*, *G* є аналітичними, а положення точок *E* і *A* знаходять шляхом обчислень (координат), то положення точки *B* буде із значно вищою точністю; ця точність була б не меншою, як би проект переносили теодолітом за даними аналітичних обчислень (обчислень, проведених на основі вимірювань у натурі). Метод розрахунку похибок той же самий який указано вище.

6.5. Особливості перенесення проекту в натуру за матеріалами аерофотознімання

Якщо ділянки проектували аналітичним способом, то вибір способу перенесення проекту в натуру не залежить від типу знімання, після проведення якого одержано плановий матеріал. Якщо ж проектування проводили механічним і графічним способами, то за основу при перенесенні проекту часто використовують ситуаційні точки та контури.

Матеріали аерофотознімання мають велику перевагу перед планами наземного знімання, оскільки аерофотоматеріали насичені детальними характеристиками місцевості. Вони дають можливість зменшувати кількість вимірювань приладами при перенесенні проекту в натуру й використовувати ці прилади тільки для вимірювання коротких відстаней, тому що опорною точкою є кут побудови, кут огорожі, перетини доріг і стежок, повороти канав та ін. (див. рис. 6.8). При цьому потрібно передбачити заходи щодо відновлення проектних знаків у разі їхньої втрати.

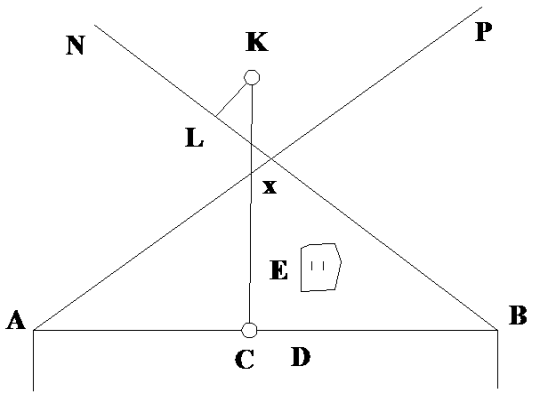


Рис. 6.8. Перенесення проектних точок у натуру, коли положення проектної точки С визначається проміром АС або ВС

При перенесенні проекту прагнуть до максимального зменшення кількості вимірювань і довжин промірів, чого досягають правильним читанням аерознімків і вибором найближчого розпізнавального знака для опори. Досвід показує, що найкращим фотоматеріалом для розшифрування контурних точок, які використовують як опору, є невіддешифровані контактні відбитки, оскільки збільшення або трансформування аерознімків, а також репродукування мозаїчних фотопланів завжди зменшують різкість зображення, особливо дрібних об’єктів місцевості. Дешифрування контурів ситуації погіршує якість деталей аерознімків і зменшує можливість використання як опори значної кількості контурних точок. Тому при проектуванні, особливо при перенесенні проекту в натуру, крім віддешифрованих аерофотоматеріалів, на яких проводять проектування, доцільно мати невіддешифровані

контактні відбитки, за допомогою яких (іноді з лупою) можна легко відшукати багато дрібних об'єктів місцевості. За допомогою них зручно переносити у натуру ділянки, де суворе дотримання паралельності й перпендикулярності сторін ділянок не є обов'язковим, наприклад на пасовищах, сіножатях та ін.

Поряд із прийомами перенесення проектних точок у натуру, коли проектна точка збігається з контурною в натурі й вимірювання не обов'язкові або коли положення проектної точки *C* на лінії контуру *AB* (рис. 6.8) визначається проміром *AC* або *BC*, при використанні матеріалів аерофотознімання широко застосовують також інші прийоми, що зумовлюють до зменшення довжин промірів, необхідних для перенесення проектних точок у натуру.

Наприклад, одержання проектної точки *C* за віддаленими точками *A* й *B* через різномасштабність окремих частин аерознімків (особливо, якщо вони не трансформовані) може призвести до значних похибок вимірювання ліній *AC* і *BC* на аерознімку. В такому разі результат буде точнішим, якщо скористатися контурною точкою E, розташованою поблизу проектної точки *C*, й опустити з точки E перпендикуляр на лінію *AB* і від основи перпендикуляра провести промір *CD*, узятий з аерознімка, для одержання проектної точки на місцевості.

Для зменшення довжини промірів використовують перетин ліній, керуючись тим, що точка перетину прямих на аерознімку незалежно від спотворення аерознімка в перспективі збігатиметься з точкою перетину цих прямих на місцевості (якщо місцевість рівна або якщо спотворення за рельєфом незначне). Тому при перенесенні в натуру проектної точки *K* знаходять поблизу неї на місцевості положення точки *X* на перетині ліній *AP* і *NB*. Від точки відмірюють відрізок *XL* й за перпендикуляром *LK* знаходять положення проектної точки *K*. Для контролю всі лінії між проектними точками вимірюють у натурі, а результати вимірювань звіряють із відповідними лініями на аерознімках.

Одержання на місцевості кожної проектної точки межі таким способом може викликати значну непаралельність сторін ділянки, яка характеризується граничною похибкою:

$$\Delta\alpha \approx \frac{0{,}1 \times 3438'}{S\,\text{см}} = \frac{344'}{S\,\text{см}},$$

де *S* – середня довжина сторін ділянки в сантиметрах на плані (у цій формулі 0,1 – гранична похибка положення точки у сантиметрах на фотоплані, що передбачається діючими інструкціями; формулою передбачено найгірший випадок, коли всі чотири точки ділянки знаходяться на різних аерознімках фотоплану); при *S* = 5 см на фотоплані $\Delta\alpha \approx 70' \approx 1{,}2°$.

У разі, якщо потрібна строга паралельність довжин сторін ділянки, визначають тільки основні точки проекту, наприклад *A*, *K* і *L* й відносно цих точок одержують усі інші точки. При цьому на місцевості дещо зміститься вся система меж, але взаємне розташування їх буде з високою точністю.

За такого способу перенесення проекту в натуру як основу, крім контурних точок, широко використовують прямі контури угідь, доріг, канав тощо, що легко розпізнаються на аерофотоматеріалі.

Для підвищення точності при проведенні підготовчих робіт, проектуванні та перенесенні проекту в натуру використовують закріплені на місцевості опорні знаки. Точність перенесення проекту в натуру з аерофотоматеріалів приблизно така ж сама, як і за планами наземного знімання.

6.6. Перенесення проекту в натуру кутомірним способом

Проект у натуру переносять за допомогою теодоліта та вимірювального приладу після проектування на плані будь-яким способом і з плану будь-яким видом знімання, особливо, якщо на плані й на місцевості є пункти геодезичної основи, наприклад, пункти теодолітних ходів по межах землекористування або пункти геодезичних мереж. Положення таких пунктів має бути визначено координатами, обчисленими за результатами вимірювань на місцевості.

За допомогою теодоліта і вимірювального приладу проект у натуру переносять тоді, коли використання тільки одного вимірювального приладу є незручним, коли проектні межі являють собою ламані лінії й прокладають їх у закритій (залісненій, забудованій) чи горбистій місцевості або точки ситуації не можуть бути надійною основою для перенесення проекту в натуру. В такому разі перенесення проекту за допомогою теодоліта зручніше порівняно з мензулою у тому відношенні, що теодоліт значно портативніший і легший за мензулу і робота теодолітом меншою мірою залежить від погоди.

Залежно від розміщення проектних точок щодо пунктів геодезичної основи у практиці перенесення проекту в натуру теодолітом існують два варіанти визначення положення проектних точок на місцевості:

1) з однієї станції полярним способом,

2) із кількох станцій, які утворюють проектний теодолітний хід.

При перенесенні проекту теодолітом у всіх випадках прагнуть до того, щоб вихідними (опорними) були пункти геодезичних мереж з обчисленими значеннями координат.

При полярному способі (рис. 6.9, а) проектним є кут β, який будують на місцевості у вихідній точці *A*. Величини β і *S* можуть бути задані за проектом у числовому виразі або визначені при проектуванні чи графічно за планом.

Для побудови кута β теодоліт установлюють у вихідній точці *A*. Якщо β є лівим кутом, то, враховуючи, що поділки на лімбі надписані за ходом годинникової стрілки, нульовий штрих алідади з'єднують із нульовим штрихом лімба й, обертаючи лімб (разом з алідадою), наводять зорову трубу за вихідним напрямком на точку *B*. Потім відкріплюють алідаду та обертають її до суміщення нульового штриха зі штрихом лімба, що позначає величину кута β. При цьому положенні зорова труба вкаже на проектну точку *a*.

Якщо будують правий кут λ, то нульовий штрих алідади суміщають штрихом лімба, який позначає величину кута λ, й, обертаючи лімб (разом з алідадою), наводять зорову трубу за вихідним напрямком на точку *B*. Після цього послаблюють алідаду та обертають її до суміщення нульового штриха з нульовим штрихом лімба. При цьому положенні зорова труба вкаже на проектну точку *a*.

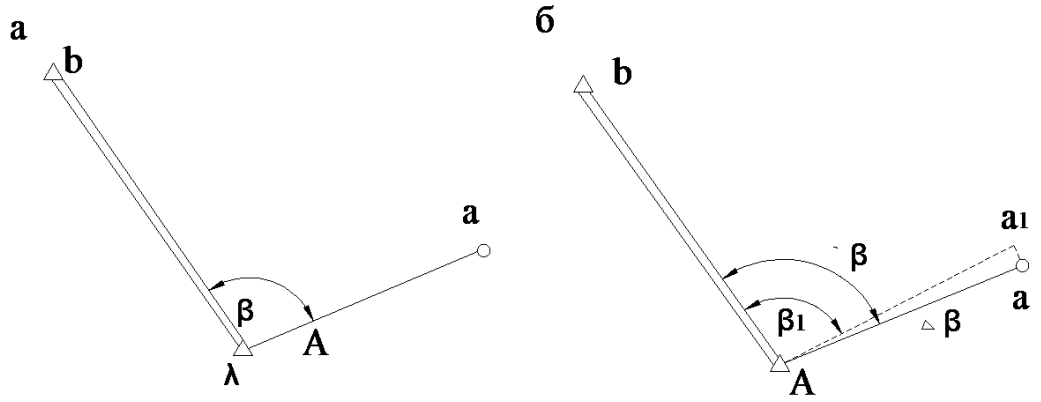


Рис. 6.9. Перенесення проекту в натуру кутомірним способом

У зазначеному напрямку, дещо більшому від довжини лінії *S*, ставлять віхи – одну в результаті побудови правого кута λ, другу – лівого кута β і з двох положень віх установлюють середнє. Далі від точки *A* відмірюють відстань *S* і в кінці її встановлюють знак. Відміряну відстань контролюють повторним вимірюванням.

У ряді випадків при точних роботах з перенесення проекту в натуру напрямок *Aa* необхідно будувати з вищою точністю, ніж це можна одержати одним прийомом звичайного тридцятисекундного теодоліта. Проте є спосіб, коли і теодолітом можна побудувати кут із значно вищою точністю. Він полягає в наступному: нехай задана величина проектного кута дорівнює β. За цією величиною будують кут щодо лінії *AB* (рис. 6.9, б) і встановлюють віху в точці a_1. Потім вимірюють кут BAa_1 одним із точних способів, наприклад, способом повторень або кількома прийомами. Нехай у результаті вимірювання одержано значення кута $\beta_1 \neq \beta$, при цьому $\beta_1 - \beta = \Delta\beta$.

Знаючи довжину лінії *Aa*, обчислюють лінійне зміщення точки a_1 за формулою:

$$a_1 a = \frac{A_a \times \Delta\beta}{\rho}.$$

Визначають величину a_1a від точки a_1 за перпендикуляром до лінії Aa_1 (в той чи інший бік залежно від знака Δβ) і одержують положення шуканої точки а, а отже, й лінії *Aa* під заданим кутом β.

Похибку положення проектної точки а щодо вихідної *A* обчислюють за формулою:

$$m_{t_a}^2 = m_s^2 + (S\frac{m_\alpha}{\rho})^2,$$

де m_α – середньоквадратична похибка напрямку (дирекційного кута) лінії *Aa*, яку визначають за формулою:

$$m_{ta}^2 = m_s^2 + (S\frac{m_\alpha}{\rho})^2.$$

Відповідно до наведеної формули:

$$m_\alpha^2 = m_{\alpha BA}^2 + m_\beta^2.$$

Указане свідчить про те, що на похибку проектного напрямку *Aa* впливає похибка вихідного напрямку (дирекційного кута лінії *BA*). Тому для перенесення проекту в натуру використовують довгу відстань між вихідними пунктами *A* і *B*, щоб було $m_\alpha BA < m\beta$, коли можливо взяти $m\alpha \approx m\beta$.

Наведемо приклад обчислення похибки положення проектної точки а за формулою:

Приклад 1.

$$S = 327{,}3 \text{ м}, \quad m_S = \frac{327{,}3}{3000} = 0{,}11 \text{ м}; \quad m_\beta = 1'';$$

$$m_{t_a}^2 = 0{,}11^2 + \left(\frac{330 \times 1}{3400}\right)^2; \quad m_{t_a} = 0{,}15 \text{ м}.$$

При цьому звертаємо увагу на однаковий вплив похибок лінійних і кутових вимірювань.

Приклад 2.

S = 327 м, що визначено за планом масштабу 1:10 000 із похибкою 0,8 м, а кут β – за допомогою транспортира з похибкою 7'. У такому разі до похибки, одержаної в прикладі 1, треба додати похибку, яка є результатом впливу похибок вимірювання за планом.

Загальна похибка з урахуванням впливу похибок вимірювань на місцевості й за планом буде:

$$m_{a_0} = \sqrt{0{,}15^2 + 1{,}05^2} = 1{,}06 \text{ м}.$$

Звертаємо увагу на невідповідність похибок вимірювань на місцевості та за планом. Значні похибки вимірювань за планом поглинають похибки польових вимірювань і визначають точність положення проектних точок на місцевості.

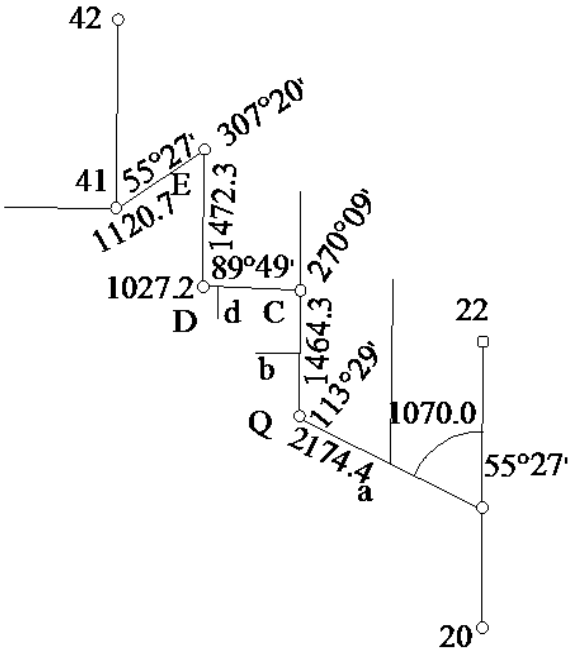


Рис. 6.10. Прокладання проектного теодолітного ходу

Прокладання проектного теодолітного ходу показано на рисунку 6.10. На ньому представлена ламана лінія між точками 21 і 41 й одержана на плані у процесі проектування. Перенесення в натуру цієї лінії за допомогою вимірювального приладу пов'язано з певними труднощами, і воно може бути ускладнене відсутністю взаємної видимості між точками 21 та 41.

Якщо проектування виконували аналітичним способом, то всі геодезичні дані (кути і лінії), необхідні для перенесення у натуру, одержують шляхом обчислень при проектуванні.

При графічному або механічному способі проектування ці дані отримують графічно за планом. Існують два способи графічного визначення геодезичних даних для прокладання проектного теодолітного ходу.

1. Кути вимірюють транспортиром, лінії – вимірювачем. При цьому виміряні кути ув'язують між вихідними дирекційний кутами – кінцевої (41–42) і початкової (22–21) ліній ходу (для підвищення точності прокладання ходу; транспортиром вимірюють дирекційні кути ліній ходу, а за ними обчислюють кути між сторонами ходу, при цьому вихідних дирекційних кутів не вимірюють, а приймають їхні аналітичні значення – з відомостей, каталогів тощо. У такому разі немає потреби ув'язувати кути, оскільки кутова нев'язка дорівнюватиме нулю). Однак цей спосіб унаслідок низької його точності використовують рідко.

2. Кути і лінії визначають шляхом обчислень за координатами, причому для проектних точок *Q*, *C*, *D* і *E* (див. рис. 6.10) координати вимірюють графічно за планом, а для початкової 21-ї й кінцевої 41-ї точок проектного ходу надписують аналітичні значення координат із відомостей координат.

Кути між сторонами ходу визначають за різницями дирекційних кутів, обчислених за формулою:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{y_{k+1} - y_k}{x_{k+1} - x_k},$$

лінії – за формулою:

$$s = \frac{y_{k+1} - y_k}{\sin\alpha} = \frac{x_{k+1} - x_k}{\cos\alpha},$$

або

$$s = \sqrt{(x_{k+1} - x_k)^2 + (y_{k+1} - y_k)^2}$$

і

$$\cos\alpha = \frac{x_{k+1} - x_k}{s}; \quad \sin\alpha = \frac{y_{k+1} - y_k}{s}.$$

При цьому зручно користуватися схемами обчислень (табл. 6.1). При використанні схеми 1 значення *s* обчислюють за таблицями приростів координат методом винятку, а схеми 2 – за таблицями квадратів чисел.

Праві за ходом кути визначають за формулою:

$$\lambda_k = \alpha_{k-1} + 180^\circ - \alpha_{k,}$$

а ліві за ходом – за формулою:

$$\beta_k = \alpha_k + 180^\circ - \alpha_{k-1.}$$

Наведені обчислення можна виконати на бланку звичайної відомості координат, заповнюючи її справа наліво, починаючи від координат точок і закінчуючи внутрішніми кутами. Величини кутів обчислюють з округленням до мінут, а лінії – до сотих метра, якщо вони в середньому коротші 300 м, і до десятих часток, якщо вони довші 300 м.

При малих величинах румбів значення *s*, яке обчислюють за Δy, одержане з грубою похибкою, тому що Δy містить малу кількість значень цифр. При більших величинах румбів, навпаки, значення s буде грубішим за Δx. Тому за величинами Δx і Δy, які містять малу кількість значущих цифр, значення s не одержують (див. табл. 6.1). Значення s вважається най точнім, оскільки воно одержано за найбільшою кількістю значущих цифр, що містяться в Δx і Δy.

Кути при проектних точках *Q*, *C*, *D* і *E* визначають за дирекційними кутами ліній 21 – *Q*, *QC*, *CD*, *DE* й *Q*–41–*E*, а прилеглі кути при початковій 21-й і кінцевій 41-й точках – за обчисленими дирекційними кутами ліній 21–*Q* й 41–*E* та дирекційними кутами ліній 22–21 і 41–42, вибраними з відомостей координат відповідних теодолітних ходів.

Слід мати на увазі, що одну з ліній для прилеглих кутів 21 та 41 можна брати не тільки на граничні пункти 22 і 42, але й на інші більш віддалені пункти геодезичної мережі, які мають обчислені значення координат. Чим довша лінія прилеглого кута, що слугує для орієнтування проектного ходу, і чим точніше визначені пункти, на які спирається орієнтуюча лінія прилеглого кута (на рис. 6.10 лінія 22–21 і 41–42), тим точніше перенесений проектний хід у натуру.

Окремі проміри до проектних точок *a*, *b* і *d* обчислюють за масштабом при обох способах визначення геодезичних даних й ув'язують у межах проектних ліній 21–*Q*, *QC*, *CD*.

Обчислення значень ліній і дирекційних кутів контролюють за планом за допомогою вимірювача і транспортира.

Побудову ходу в натурі можна починати як від точки 21, так і від точки 41, але перевагу слід віддати тій точці, від якої прилеглий кут будується як від найдовшої лінії.

Таблиця 6.1 – ***Відомість визначення дирекційних кутів (Схема 1)***

Номер точок	*x*	*Y*	Δ*x*	Δ*y*	tgα	Значення румбів	*S*	Дирекційні кути	Праві за ходом кути
22									
							2172,3	181°04′	
21	+5153,1	+8128,3							66°32′
			+901,9	-1975,3	–2,1902	65°28′	2171,4	294°32′	
Q	+6055	+6153							113°29′
			+1464	+27	+0,0184	01°03′	1464,3	01°03′	
C	+7519	+6180							270°09′
			+16	–1027	–64,2	89°06′	1027,1	270°54′	
D	+7535	+5153							89°49′
			+1472	+28	+0,0190	01°05′	1472,3	01°05′	
E	+9007	+5181							304°20′
			–614,4	–937,3	+1,5256	56°45′	1120,5	236°45′	
41	+83926	+4243,7							55°27′
							1120,8	01°18′	
42									
			+3239,5	-3884,6					899°46′

Контроль: 181°04′+6 × 180° – 899°49′ = 361°18′.

Схема 2

Номер точок	*x*	*Y*	Δ*x*	Δ*y*	*s*	cosα sinα	Значення румбів	Дирекційні кути	Праві за ходом кути
22									
								181°04′	
21	+5153,1	+8128,3				+0,4154	65°27′		66°32′
			+901,9	-1975,3	2171,4	-0,9097	65°28′	294°32′	

Продовження схеми 2

Номер точок	*x*	*Y*	Δ*x*	Δ*y*	*s*	cosα sinα	Значення румбів	Дирекційні кути	Праві за ходом кути
Q	+6055	+6153				+0,9998	–		113°29′
			+1464	+27	1464,3	+0,0184	01°03′	01°03′	
C	+7519	+6180				+0,0156	89°06′		270°09′
			+16	–1027	1027,2	-0,9998	–	270°54′	
D	+7535	+5153				+0,9998	–		89°49′
			+1472	+28	1472,3	+0,0190	–	01°05′	
E	+9007	+5181				-0,5482	56°45′		304°20′
			–614,4	–937,3	1120,7	-0,8264	56°46′	236°45′	
41	+83926	+4243,7							55°27′
								118°00′	
42									
			+3239,5	-3884,6					899°46′

Контроль: $181°04′+6 \times 180° – 899°49′ = 361°18′$.

Проектні кути на місцевості будують послідовно в точках 21, *Q*, *C*, *D*, *E*, як зазначалося раніше, відповідно до (рисунка 6.9). Після кожної побудови кута відмірюють лінії (наприклад, за нитяним далекоміром) і кінці ліній на деякий час закріплюють кілками. При промірах ліній враховують поправки за нахил ліній.

Унаслідок нагромадження похибок при прокладанні проектного ходу в натурі одержують нев'язку, причому величина її, крім впливу похибок кутових і лінійних вимірювань у натурі, залежить і від того, яким способом одержані кутові та лінійні величини для перенесення проекту в натуру. Якщо кути і лінії одержані за планом графічно – за допомогою транспортира і вимірювача, то нев'язка буде внаслідок впливу наступних похибок:

1) кутових і лінійних вимірювань у натурі при перенесенні проекту;

2) координат, що визначають положення початкової 21-ї й кінцевої 41-ї точок проектного ходу – однієї щодо другої;

3) нанесення точок 21, 22, 41 та 42 на план за координатами;

4) визначення кутів і ліній проектного ходу за планом.

Якщо кути й лінії одержані шляхом обчислень за графічними координатами проектних точок і аналітичними координатами початкової та кінцевої точок проектного ходу, тобто за другим способом, то нев'язка буде внаслідок дії тільки першої й другої похибок. Похибки визначення кутів і ліній на плані за другим способом вплинуть тільки на точність визначення проектних точок у натурі й не впливатимуть на нев'язку в проектному ході, оскільки сума правих кутів, визначених за обчисленими дирекційними кутами, точно задовольнятиме рівняння:

$$\sum \lambda = \alpha_n + n \times 180^\circ - \alpha_{n,},$$

а сума приростів, визначених за дирекційними кутами і довжинами ліній, дорівнюватиме різниці координат кінцевої та початкової точок ходу.

Слід зазначити, що нев'язка кутів, виміряних транспортиром за першим способом, не вплине великою мірою на зменшення нев'язки в проектному ході.

Установимо, якою буде нев'язка проектного ходу при перенесенні проекту в натуру. Для обчислення наближеної величини першої помилки використаємо формулу:

$$M^2 = n \times m_s^2 + \frac{n+1{,}5}{3}\left(\frac{m_\beta}{\rho}\sum s\right)^2, \qquad (6.5)$$

де m_s – середньоквадратична похибка вимірювання сторони ходу;
Σs – сума довжин сторін ходу (довжина ходу);
m_β – середньоквадратична похибка вимірювання (побудови) кута;
n – кількість сторін ходу;
p – 3438', якщо m_β виражається в мінутах.
Довжина проектного ходу 21–41, тобто $\Sigma S = 7256$ м; $n = 5$.

Для визначення величини першої похибки приймемо:

$$m_s = =7256/5 \times 300 = 0{,}48 \text{ м}, m\text{ß} = 1'.$$

Тоді величина першої похибки буде:

$$M_1 = 3{,}33 \text{ м}.$$

Для обчислення величини четвертої похибки візьмемо у формулу значення $m_s = 2$ м – точність вимірювання лінії за планом масштабу 1:25 000, $m_\beta = 7'$ – середньоквадратична похибка вимірювання кута транспортиром. Тоді величина четвертої похибки буде:

$$M_4 = 22{,}2 \text{ м}.$$

При зменшенні довжини проектного ходу вказана величина значно зменшується. Так, при довжині 2 км, n – 4 величина $M_4 = 6{,}8$ м.

Величина другої похибки залежить від способу взаємного визначення точок 21 і 41. Якщо ці точки розміщені поблизу пунктів геодезичної основи, до яких вони прив'язані, то похибка їхнього відносного положення буде невеликою. Якщо ж ці точки пов'язані тільки теодолітним ходом, то похибка їхнього відносного положення залежить від довжини ходу, який з'єднує ці точки, і в середньому становить 1/3000 довжини (тому що допустима нев'язка дорівнює 1/1500 довжини ходу і гранична похибка прийнята такою, яка дорівнює подвоєній середній похибці). Нехай довжина ходу буде 12 км, тоді:

$$m_2 = \frac{12000}{3000} = 4 \text{ м}.$$

Величина третьої похибки становитиме 4,5 м (0,18 мм на плані масштабу 1:25 000).

Отже, середня величина нев'язки в проектному ході, якщо кути та довжини ліній визначають графічно, за першим способом обчислюється:

$$f_1 = \sqrt{3{,}3^2 + 4{,}0^2 + 4{,}5^2 + 22{,}2^2} = 23{,}2 \text{ м},$$

за другим способом:

$$f_2 = \sqrt{3{,}3^2 + 4{,}0^2} = 5{,}2 \text{ м},$$

а гранична або допустима нев'язка, якщо вважати її такою, що дорівнює подвоєній середній, при першому способі буде:

$$f_{1\text{доп}} = 46 \text{ м},$$

а при другому:

$$f_{2\text{доп}} = 10 \text{ м}.$$

Таким чином, якщо кути визначають за планом транспортиром, а лінії – вимірювачем, то нев'язка у такому проектному ході в 4–5 разів більша від нев'язки, одержаної тоді, коли кути та довжини ліній обчислюють за координатами, визначеними графічно. Тому, щоб уникнути одержання великих нев'язок, що перевищують величину точності масштабу, визначати кути транспортиром, а лінії – вимірювачем за масштабом можна тільки у разі крайньої необхідності для проектних ходів, довжина яких не перевищує 1 км при масштабі 1:10 000 і 2 км при масштабі 1:25 000. При цьому для підвищення точності слід вимірювати транспортиром не кути, а напрямки (румби) й за ними обчислювати кути. Румби вихідних ліній 21–22 і 41–42 беруть із відомостей координат, тоді і шукані кути будуть ув'язаними.

Можна визначити похибку положення будь-якої проектної точки ходу до його середини, оскільки із середини ходу похибки положення проектних точок після ув'язки їх у натурі в міру наближення до кінцевої точки ходу будуть зменшуватися. До цієї похибки потрібно додати (як корінь квадратний із суми квадратів похибок) похибку обчислення графічних координат проектної точки, що становить 4,5 м при масштабі 1:25 000.

Нев'язку, обчислену за допомогою другого способу, тобто 10 м, надалі передбачають також і у разі перенесення проекту в натуру за результатами аналітичного проектування.

На основі наведених розрахунків можна приблизно визначити величини допустимих нев'язок у проектних ходах. При цьому відносна лінійна нев'язка у проектних ходах не повинна бути більшою 1/700 довжини ходу. Для коротких проектних ходів відносну нев'язку допускають до 1/ 600, а при ходах, менших за 1 км, – до 1/ 500.

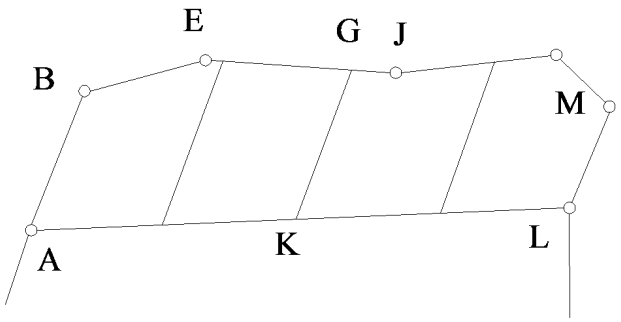


Рис. 6.11. Перенесення проекту в натуру,
коли трапляється перешкода, яка закриває видимість між точками

Якщо кутові та лінійні величини проектних ходів одержані із плану за допомогою транспортира і вимірювача, то лінійну нев'язку допускають до 1/200 довжини проектного ходу.

Допустиму нев'язку розподіляють у натурі за способом паралельних ліній (так само як і в ходах, які наносять на план за румбами, або у мензульних ходах). Напрямки нев'язки в кінцевій точці ходу й поправок до положення проектних точок визначають бусоллю, лінійну нев'язку вимірюють, а лінійні поправки вводять у положення точок за допомогою рулетки.

Якщо проектування виконували графічним способом, то нев'язку, яка не перевищує точності масштабу (0,1 мм на плані), не розподіляють. Якщо нев'язка дорівнює подвоєній точності масштабу, то поправки вводять у положення двох останніх проектних точок. Коли нев'язка перевищує подвоєну точність масштабу, поправки вводять у положення кожної точки пропорційно до довжини ходу від початку його до проектної точки.

Коли ж проектування проводили аналітичним способом, то нев'язку, що не перевищує 1/1000 ширини ділянок, які проектують, не розподіляють. В усіх інших випадках її розподіляють також пропорційно до довжини ходу.

Дуже часто теодоліт використовують при перенесенні проекту в натуру у закритій місцевості (коли потрібно прорубати просіку) або за умови значної горбистості, навіть якщо проектні лінії прямі. Якщо на лінії *AL* (рис. 6.11) трапиться якась перешкода, що закриває видимість між точками *A* й *L*, то для перенесення в натуру цієї лінії обчислюють проектні кути при точках *A* або *L* за дирекційними кутами ліній *A B* і *ML*, взятими з відомості координат, і за дирекційним кутом лінії *AL*, визначеному за координатами точок *A* та *L*.

Проектний кут при точці *K* може не дорівнювати куту при точці *A* (рівності цих кутів дотримують для паралельності протилежних сторін ділянок), тоді для перенесення в натуру проектної лінії *KG* проектні кути при точках *K* і *G* знаходять за координатами цих точок, обчисливши попередньо дирекційні кути ліній, що утворюють проектні кути. Координати точок *K* і *G* визначають за формулами:

$$x_K = x_A + AK \times \cos \alpha_{AL}; \quad y_K = y_A + AK \times \sin \alpha_{AL};$$

$$x_G = x_E + EG \times \cos \alpha_{EI}; \quad y_G = y_E + EG \times \sin \alpha_{EI}.$$

Указану задачу розв'язують інакше, особливо коли координати точки на прямій доводиться обчислювати після ув'язки теодолітного полігона або ходу. При цьому в результаті введення поправок у прирости координат величина дирекційного кута, визначена за виправленим приростом, дещо відрізняється від його значення, за яким обчислені прирости. Щоб забезпечити положення точок у створі прямої, їхні координати визначають за формулами:

$$x_K = x_A + \frac{x_L - x_A}{AL} AK; \quad y_K = y_A + \frac{y_L - y_A}{AL} AK;$$

$$x_G = x_E + \frac{x_I - x_E}{EI} EG; \quad y_G = y_E + \frac{y_I - y_E}{EI} EG.$$

Про порядок вибору й побудови проектного кута при точках *A* або *L* сказано в попередньому прикладі. Тут лише слід додати, що за інших умов, якщо точки *A* й *L* чи одна з цих точок знаходиться у відкритій місцевості, проектний кут слід будувати в тій точці, яка ближча до ділянки із заростями або розташована у ній. При цьому прорубування просіки, якщо допущена груба похибка в напрямку, займе менше часу. З цієї ж причини для перенесення у натуру проектної лінії прилеглий кут краще будувати в точці *K* після того, як положення її знайдено й ув'язано у натурі за лінією *AL*.

Величину нев'язки, одержаної при перенесенні в натуру ліній *AL* і *KG*, можна наближено обчислити за величиною периметра найменшого замкненого полігона, в який входить ця проектна лінія. Для проектної лінії *AL* таким полігоном буде *ABGJMLA*, а для лінії *KG* – полігон *KABEGK*. Нехай периметри цих полігонів становлять відповідно 3734 і 2634 м.

Допустима (гранична) відносна нев'язка у замкненому полігоні, передбачена інструкціями, дорівнює 1/1500. Отже, нев'язку в проектній лінії *AL* можна допустити:

$$f_{AL} = \frac{3734}{1500} = 2{,}5 \text{ м},$$

а лінії KG

$$f_{KG} = \frac{2634}{1500} = 1{,}8 \text{ м}.$$

6.7. Заходи, які застосовують для забезпечення паралельності й перпендикулярності проектних ліній

Для забезпечення паралельності проектних ліній у натурі застосовують ряд заходів: проектування аналітичним способом, уточнення промірів, за якими проект переносять у натуру, прокладання на місцевості допоміжних ліній, за якими відмірюють ширину проектних ділянок.

Паралельність може значно порушитися, якщо проміри беруть із плану, особливо, якщо основою для визначення в натурі положення решти паралельних ліній ділянок слугують точки контурів ситуації. Щоб уникнути цього, при механічному або графічному способі складання проекту можуть бути використані такі прийоми (крім указаних).

Якщо ділянки мають компактну форму і довжини сторін не перевищують 800–1000 м, а на місцевості забезпечується добра видимість, проекта може бути перенесений за допомогою теодоліта, шляхом побудови допоміжного перпендикуляра *MN* до лінії 24–25 у довільно обраній точці *M*. Провішують напрям цього перпендикуляра і відкладають за ним певні відрізки за планом (висоти) h_1, h_2, h_3 запроектованих ділянок. З одержаних точок під кутом 90° відносно допоміжного перпендикуляра будують межі: з точки *E* – напрямки *EE″* та *EE′*, з точки *F* – напрями *FF′* й *FF″* і т. д. У місцях перетину цих напрямків з контуром ріллі *E′* і *E″*, F' і F" та іншим ставлять межові знаки. Контролювати довжини ліній тут можна за віддалеміром, а кути – за допомогою екера. Лінія 24–25 може бути прямолінійним контуром ріллі, дороги тощо.

Коли ж ділянки мають значну довжину, то допоміжний перпендикуляр краще опустити до однієї з бічних сторін, у даному разі до сторони *BC*, тоді відрізки d_1, d_2, d_3,. . . відповідно дорівнюватимуть h_1, h_2, h_3 ... Поблизу інших ділянок проводять на плані допоміжну лінію *AD* і вимірюють на ній кут β за допомогою транспортира. Оскільки від цього кута в натурі буде побудовано напрямок допоміжної лінії *AD*, то похибки визначення кута на плані ніякого впливу на точність перенесення проекту в натуру не матимуть. Потім обчислюють довжини бічних відрізків:

$$c_1 = \frac{h_1}{\sin\beta}, \quad c_2 = \frac{h_2}{\sin\beta} \qquad \text{і т. д.}$$

Контролем слугує рівняння:

$$c_1 + c_2 + c_3 + \ldots = \frac{h_1 + h_2 + h_3 + \ldots}{\sin\beta}.$$

Починають переносити проект у натуру з побудови допоміжного перпендикуляра *BC* до опорної лінії 24–25, потім провішують його і відмірюють відрізок d_1. Від перпендикуляра до *BC*, побудованого за допомогою екера, переносять цю точку на місце перетину межі поля з контуром ріллі й ставлять знак у точці *E″*. Так само роблять із межами інших полів при встановленні знаків у точках *F″* і *N″*. Далі з точки *A*, положення якої визначають за відрізком 24–А, під кутом β будують напрямок *AD*, провішують лінію та відрізок c_1. Якщо є видимість на стовп або віху в точці *E″*, то провішуванням на себе продовжують межу поля до перетину її з контуром у точці *E′*. Якщо видимості на точку *E″* немає, то з кінця проміру c_1 під

кутом β будують напрямок, за яким виносять межу в точку *E′*. Так само ставлять знаки у точках *F′* і *N′*.

Якщо за умовами конфігурації ділянки кут α біля точки *B* відрізнятиметься від прямого, а висоти ділянок не визначені (при механічному способі проектування), то для забезпечення паралельності меж полів у натурі слід визначити графічно за планом довжину однієї допоміжної лінії, наприклад *BC*, довжини відрізків d_1, d_2, d_3 ... й ув'язати їх у довжині лінії *BC*. Після цього потрібно виміряти транспортиром кути α і β (2–3 рази для контролю і підвищення точності) й визначити довжини відрізків c_1, c_2, c_3 ... так:

$$c_1 = \frac{d_1 \times \sin\alpha}{\sin\beta}, \quad c_2 = \frac{d_2 \times \sin\alpha}{\sin\beta} \text{ і т. д.}$$

Контролюють обчислення за формулою:

$$c_1 + c_2 + c_3 + ... = \frac{BC \times \sin\alpha}{\sin\beta} = AD.$$

Точки із кінців промірів d_1, d_2, ... c_1, c_2, ... переноситимуть на контури ситуації в такому разі буде шляхом побудови з кінців промірів d_1 навхрест лежачих кутів α, а з промірів c_1 – кутів β або провішуванням ліній межі поля на себе.

Вимірювати кути α і β на плані транспортиром для обчислення довжин бічних сторін ділянок, що мають форму трапеції, можна також у випадках, коли бічні сторони полів прямолінійні й коли відповідно лінії *AD* і *BC* є незміненими межами полів. Значні похибки в обчисленні кутів, близьких до 90°, мало впливають на величину синуса кута. Наприклад, похибка 10' для вимірювання кута 70° дає відносну похибку в значенні синуса кута приблизно 1:1000.

Така ж сама похибка буде внесена у розмір бічної сторони поля, яка в кілька разів менша за похибку графічного визначення її за планом, особливо при масштабі 1:25 000 і невеликій ширині ділянок.

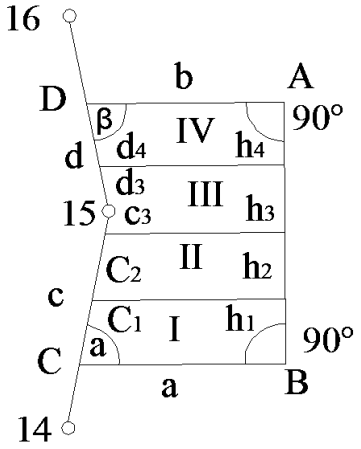


Рис. 6.12. Забезпечення паралельності та прямокутності ділянок

Для забезпечення паралельності й прямокутності ділянок не завжди можна використовувати графічні координати точок. Так, якщо положення кінців лінії виражається графічними координатами, визначеними за планом із середньоквадратичною похибкою 0,18 мм, то при відстані між точками 500 м на місцевості або 20 мм на плані масштабу 1:25 000, середньоквадратична помилка напряму, обчислена за формулою, становитиме:

$$m_\alpha = \frac{343\,8' \times m_t}{s} = \frac{343\,8' \times 0{,}18}{20} = 3\,1'.$$

Враховуючи вищенаведене, паралельність і перпендикулярність сторін полів I, II, III і IV (рис. 6.12) забезпечується наступним чином.

За планом визначають графічно координати лише однієї точки *A*. Координати точки *D* обчислюють за дирекційним кутом лінії 15–16 і відстані *d*, знятої з плану. За координатами точок *A* й *D*, розв'язуючи обернену геодезичну задачу, визначають дирекційний кут лінії *AD* і довжину лінії *b*, а потім – прилеглі кути:

$$\alpha = (DA) - (14 - 15);$$

$$\beta = (16 - 15) - (DA).$$

Дирекційний кут:

$$(AB) = (AD) - 90°.$$

Довжина *AB* дорівнює сумі промірів h_1, h_2, h_3, h_4. Крім того,

$$AB = d\sin\beta + c\sin\alpha,$$

звідки:

$$c = \frac{AB - d\sin\beta}{\sin\alpha},$$

і нарешті:

$$a = b - d\cos\beta + c\cos\alpha.$$

Таким чином, за відстанню d та координатами точки *A* всі інші елементи обчислюються аналітично.

Якщо положення точки *C* вже визначено за відстанню *c* і дирекційного кута (15–14), то довжину ліній *AB* обчислюють за формулою і пов'язують у ній проміри h_1, h_2, h_3, h_4.

Проміри c_1, c_2, c_3,. . . визначають за формулами:

$$c_1 = \frac{h_1}{\sin\alpha}; \quad c_2 = \frac{h_2}{\sin\alpha}; \quad c_3 = c - (c_1 + c_2);$$

$$d_3 = \frac{h_3 - c_3\sin\alpha}{\sin\beta}; \quad d_4 = \frac{h_4}{\sin\beta};$$

$$d_4 = d - d_3 \quad \text{(контроль)}.$$

6.8. Приклад підготовки геодезичних даних для перенесення у натуру проектного теодолітного ходу

У багатьох випадках напрямки проектних ліній теодолітного ходу повинні бути задані прилеглими поворотними кутами, а довжини ліній – їхніми значеннями, прийнятими при проектуванні. Ці проектні лінії на плані будують, як правило, за допомогою прямокутних трикутників, у яких прямий кут має похибку 8–10' і більше. Якщо координати точок повороту *A*, *B*, *C*, *D*, *E* (рис. 6.13) і за ними обчислювати напрямки, кути й довжини ліній ходу між точками 21 і 41, то кути можуть бути одержані з недопустимими відхиленнями. Значення розбіжності буде і в довжинах ліній порівняно з розрахунковими, прийнятими при складанні проекту. Отже, вже у процесі такої підготовки будуть внесені недопустимі похибки і в прямі кути, й у паралельність сторін.

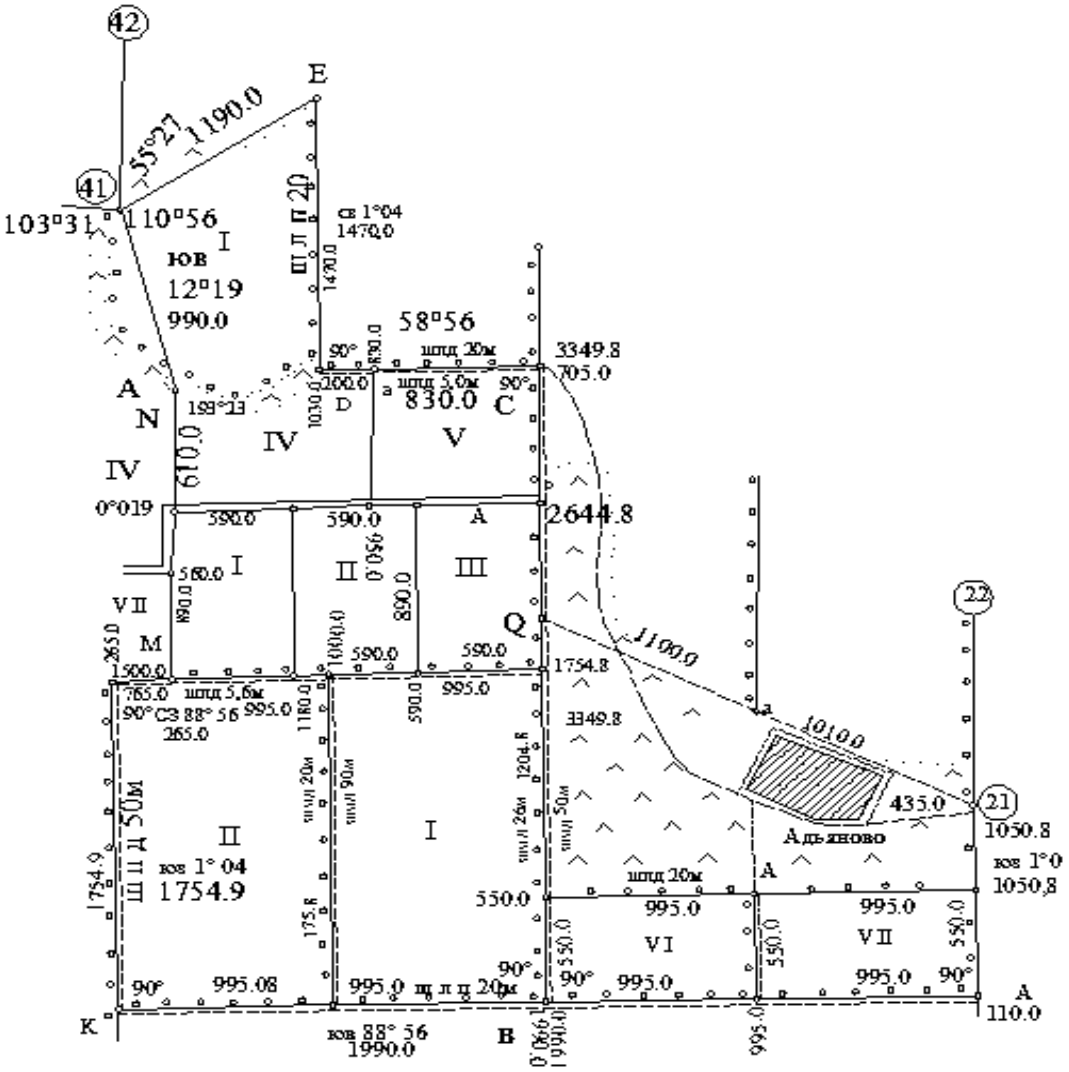


Рис. 6.13. Приклад підготовки геодезичних даних для перенесення у натуру проектного теодолітного ходу

Щоб уникнути таких похибок, для теодолітного ходу беруть дані, прийняті при проектуванні, й за ними обчислюють дирекційні кути і прирости координат, а потім – координати всіх нових точок повороту, в даному разі *A*, *B*, *C*, *D*, *E* (див. рис. 6.13). У вже за різницями координат точок *E* й 41 визначають довжину та напрямок цієї замикаючої лінії, а за різницями дирекційних кутів – кути повороту при точках *E* і 41. У такому ж самому порядку обчислюють координати точок та дирекційні кути сторін ходу *BKLMN*41. Таким чином будуть досягнуті перпендикулярність і паралельність сторін ділянок.

Із вищевикладеного випливає, що межі, які є лініями теодолітного ходу, потрібно уточнювати, наносячи на план за координатами, визначеними за величинами, прийнятими і одержаними при проектуванні. Це дасть можливість у подальшому уникнути введення поправок у положення точок на плані.

6.9. Перенесення проекту в натуру графічним способом (мензулою)

Проект у натуру за допомогою мензули переносять із планшетів мензульного знімання або аерофотознімання в таких випадках:

1) при графічному або механічному способі проектування;
2) при ускладненому перенесенні проекту тільки вимірювальним приладом через умови місцевості, або коли точки ситуації за точністю не можуть бути використані як основа;
3) якщо по межах землекористування і всередині його відсутні теодолітні ходи, наявна геодезична мережа негуста й використання теодоліта є нераціональним.

Разом із тим наявність великої кількості точок у напівзакритій місцевості робить використання мензули для перенесення проекту в натуру дуже ефективним.

Оскільки при перенесенні проекту в натуру теодолітом і вимірювальним приладом кутові та лінійні величини у деяких випадках допускається визначати транспортиром і вимірювальним приладом на плані, перенесення проекту мензулою в цих випадках буде давати точніші й швидші результати. Це пояснюється тим, що кути на мензулі будуються точніше, ніж при визначенні їх транспортиром. Крім того, на кожній станції планшета орієнтуються не за одним, а за кількома пунктами. При цьому похибка побудови кута в кожній проектній точці на відкритій і напівзакритій місцевості не залежить від похибок побудови кутів у попередніх точках, як у теодолітному ході.

Мензула переважає над теодолітом у тому разі, коли для перенесення проекту з тих чи інших причин неможливо використати обчислені координати точок, виміряні на місцевості кути і довжини ліній. І при перенесенні проекту в натуру мензулою зменшується можливість мати грубі похибки, бо вся робота ведеться і контролюється в полі. Однак перед перенесенням

проекту в натуру мензулою необхідно переконатися у наявності на місцевості опорних пунктів геодезичної та геометричної мереж.

Перенесення проекту з використанням вимірювального приладу (стрічка, оптичні далекоміри) потребує вимірювання великих відстаней від точок геодезичної основи або від контурних точок, тому най ефективнішим буде використання електрооптичних віддалемірів.

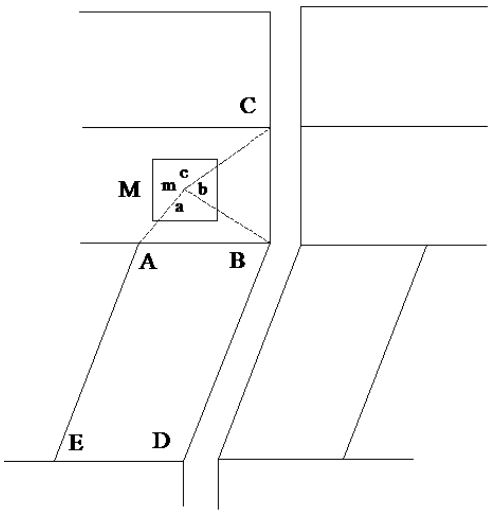


Рис. 6.14. Перенесення проекту в натуру за допомогою мензули

Перенесення проекту мензулою у відкритій і напівзакритій місцевості виконують таким чином.

1. У зоні розташування проектних точок *A*, *B*, *C* установлюють мензулу *M*. Якщо проектна точка знаходиться поблизу опорного пункту або перехідної точки, закріплення якої збереглося в натурі, то мензулу встановлюють на цей пункт. Якщо ж опорні пункти розміщені далеко від проектної точки, то мензулу встановлюють поблизу точки її стояння, яку визначають одним із способів, застосовуваних при мензульному зніманні, з перевіркою її за знятими контурами.

2. Між одержаною точкою стояння інструмента та проектною точкою вимірюють за планом відстань. Якщо ця відстань перевищує в масштабі 1:5000 – 150 м, масштабі 1:10 000 – 250 м, в масштабі 1:25 000 – 450 м, у масштабі 1:50 000 – 500 м, то мензулу переносять ближче до проектних точок і знову визначають її положення на плані.

3. До одержаної точки стояння інструмента на плані й до проектної точки *a* прикладають ребро лінійки кіпрегеля. У напрямку зорової труби реєчник, відрахувавши кроками дану спостерігачем відстань, установлює рейку і по ній спостерігач робить відлік.

Короткі лінії на рівній місцевості швидше відміряти, контролюючи їх за нитяним віддалеміром. Допустимі відстані для вимірювального приладу

можна збільшити, але з таким розрахунком, щоб похибка вимірювання відстані не перевищувала точності масштабу. Наприклад, якщо вважати, що похибка напрямку становить 7', а графічна точність – 0,08 мм, або 0,8 м у масштабі 1:10 000, то допустима відстань буде:

$$s = \frac{\Delta \times 3438'}{\delta'} = \frac{0{,}8 \times 3438'}{7'} = 393 \approx 400 \text{ м}.$$

Проте вимірювання великих відстаней є недоцільним через значні затрати часу.

4. На остаточно встановленій точці ставлять знак.

5. Способом, указаним вище, переносять у натуру всі інші проектні точки, розташовані поблизу точки стояння інструмента.

6. Наступні проектні точки переносять в натуру від нових точок стояння мензули.

Після розміщення знаків на проектних точках для контролю вимірюють лінії між проектними точками і результати записують у робоче креслення.

Іноді топографічні умови місцевості не дають змоги звіряти положення точок стояння інструменту на опорних пунктах, тоді виникає необхідність прокладати мензульні інструментальні ходи із закріпленням точок у натурі. Напрямок ходу в натурі будують за проектним точками так само, як зазначено вище, причому для вимірювання ліній замість нитяного віддалеміра зручніше (за відсутності перешкод) використовувати вимірювальний прилад.

При прив'язці ходу до опорних пунктів вимірюють величину нев'язки рулеткою, а напрям нев'язки – бусоллю. Допустиму нев'язку в мензульних проектних ходах, як і при мензульному зніманні, вважають такою, що дорівнює 1/200 довжини ходу.

У натурі нев'язку розподіляють за способом паралельних ліній. Усі проміри вимірювальним приладом і віддалеміром із зазначенням напрямків ходів і нев'язок в них записують на робочому кресленні. Після ув'язки ходу й визначення положення проектних точок їх закріплюють знаками.

Точність перенесення проектних точок у натуру мензулою відповідає точності їхнього знімання, тобто положення проектної точки на місцевості характеризується середньоквадратичною похибкою, яка відповідає 0,4 мм на плані. Такі похибки зумовлюють непаралельність і неперпендикулярність проектних ліній на місцевості. Непаралельність та неперпендикулярність коротких проектних ліній виражаються величиною, що перевищує десятки мінут. Тому проект переносять у натуру мензулою в тому разі, коли за умовами проектування не ставляться жорсткі вимоги до паралельності й перпендикулярності проектних ліній. Проте перенесення проекту в натуру мензулою може бути єдиним можливим способом у конкретних умовах і тоді треба вживати заходів, які забезпечують необхідну точність. Наприклад, для зберігання паралельності сторін *AE* і *BD* (див. рис. 6.14)

визначають відстань *AB*, після чого відмірюють від точки D відстань так, щоб *DE* дорівнювала *BA*. Будують прямий кут на місцевості за допомогою мензули з середньоквадратичною похибкою 52 + 32 = 6'. Таким способом можна побудувати й паралельні сторони ділянок, а похибка, що характеризується непаралельністю двох ліній, у цьому випадку збільшиться в 0,5 раза.

У зв'язку з цим при високих вимогах до точності перенесення в натуру меж полів і ділянок використання мензули стає обмеженим, тим більше, що подальші вимірювання на місцевості, спрямовані на уточнення паралельності меж ділянок, ускладнюють роботу, і розв'язання задачі буде простішим, якщо застосовувати прийоми, описані раніше.

6.10. Окремі випадки, що трапляються при перенесенні проекту в натуру

При перенесенні проекту в натуру, особливо в умовах пересіченої місцевості із значним нахилом, нерідко виникають труднощі (перешкоди), які потрібно долати, не вдаючись до будь-яких складних обчислень, а користуючись простими прийомами обчислень за допомогою логарифмічної лінійки безпосередньо в польових умовах.

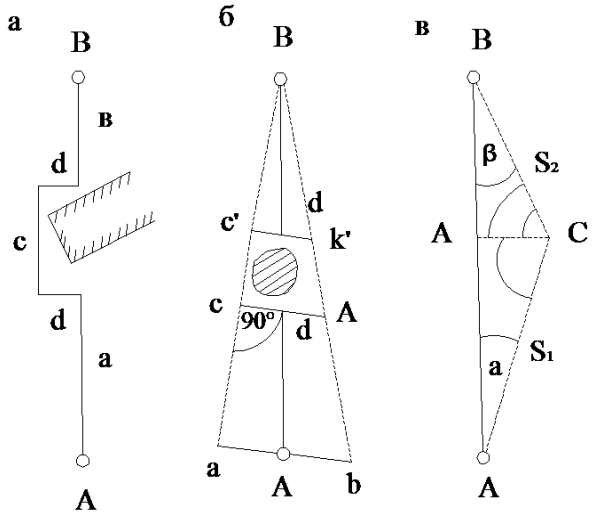


Рис. 6.15. Вимірювання ліній з перешкодами

У ряді випадків при перенесенні проекту в натуру виникає необхідність виміряти лінію між точками *A* і *B* (рис. 6.15, а), щоб перенести на неї проектні точки. Якщо на цій лінії розташовані споруди, але між точками *A* і *B* є взаємна видимість, то цю перешкоду можна обійти, виносячи частину лінії за перпендикулярами на вільне місце, а потім повернутися у створ лінії *AB*. Перпендикуляри можна побудувати екером, при цьому, чим коротший перпендикуляр *d*, тим точнішим буде рівняння:

$$AB = a + b + c.$$

Якщо видимість між точками *A* й *B* відсутня, то на рівних відстанях від точки *A* вибирають дві допоміжні точки *a* і *b*, з яких можна побачити точку *B*. Щоб спростити розв'язання задачі та підвищити точність, із точки *A* за допомогою екера опускають перпендикуляр на лінію *Ba*, і точка *a* є основою цього перпендикуляра; вимірявши його довжину *Aa*, відкладають її від точки *A* на продовженні лінії *Aa* й одержують точку *b*. Лінії *aB* і *bB* провішують поблизу перешкоди, на лінії *aB* вибирають дві точки *c* і *c′*, відновлюють у них за допомогою екера перпендикуляри, вимірюють довжини цих перпендикулярів *cк* і *c′к′* до лінії *bB*, відмірюють половину їхньої довжини від точок *c* і *c′* й одержують, таким чином, точки *d* і *d′*, які будуть у створі лінії *AB* (рис. В. 15, б).

Тепер можна переносити проект по лінії *AB*, вимірюючи відрізки *Ad*, *dB* і *cc′*. Відрізок:

$$dd' = \sqrt{(cc')^2 + (cd - c'd')^2}.$$

Якщо кут *aBA* не перевищує 3°, тобто відношення *aA* / *AB* < 0,05, то відрізки *cc′* і *dd′* приймаються рівними.

Проте перешкода може бути дуже великою і можна вибрати лише одну точку, наприклад, точку *a*, тоді роблять так. Опускають перпендикуляр із точки *A* на лінію *Ba*, вимірюють відрізок *aA* і, вибравши біля перешкоди точки *c* і *c′*, визначають відстані *ac*, *cc′* і *c′B*. Після цього на основі подібності трикутників знаходять:

$$cd = \frac{aA}{aB}cB \quad \text{і} \quad c'd' = \frac{aA}{aB}c'B.$$

Відмірявши від точок *c* і *c′* за перпендикуляром до лінії *aB* обчислені відрізки *cd* і *c′d′*, одержують на місцевості положення точок *d* і *d′*.

Нерідко при перенесенні проекту в натуру виникає необхідність знайти точку в створі лінії *AB* (див. рис. 6.15, в), коли між точками *A* і *B* немає взаємної видимості або коли точки *A* і *B* знаходяться далеко одна від одної.

Для розв'язання вказаної задачі на місцевості поблизу створу лінії *AB* намічають точку *C* і вимірюють відстані $AC = S_1$ і $BC = S_2$ і кут φ. Ці три величини дають можливість визначити відстань *l* від точки С до створу лінії *AB*, що дорівнює *CD*. Позначимо кути біля точок *A* і *B* через α й β. Із рисунка видно, що:

$$l = S_1 \sin\alpha = S_2 \sin\beta.$$

Оскільки величина *l* мала порівняно з *AB*, то $S_1 + S_2$ можна вважати рівними *AB*, тоді:

$$\frac{S_1 + S_2}{\sin\varphi} = \frac{S_1}{\sin\beta} = \frac{S_2}{\sin\alpha},$$

звідки:

$$\sin\alpha = \frac{S_2 \times \sin\varphi}{S_1 + S_2}, \quad \sin\beta = \frac{S_1 \sin\varphi}{S_1 + S_2}.$$

Підставляючи ці значення у формулу, матимемо:

$$l = \frac{S_1 S_2}{S_1 + S_2} \sin\varphi.$$

Величину l легко обчислити на логарифмічній лінійці. Для одержання точки D величину l відмірюють від точки C, при цьому навіть значне відхилення напряму CD від перпендикуляра до лінії AB дає дуже малу похибку визначення створу лінії AB. Однак напрям CD легко одержати закутами α і σ, що дорівнюють:

$$\cos\gamma = \frac{l}{S_1}; \quad \cos\sigma = \frac{l}{S_2}.$$

Побудувати їх у точці C можна з точністю у кілька десятків мінут, оскільки відстань l – мала величина. Кути γ і σ можна одержати з вищою точністю, обчисливши кути α і β за формулами , наведеними нижче.

Прорубування просік. При перенесенні проекту в натуру виникає потреба у прорубуванні просіки в лісосмугах або чагарниках. Коли ці просіки є лініями теодолітних ходів, усі необхідні геодезичні дані (кути і довжини ліній) обчислюють заздалегідь, тому під час роботи на місцевості особливих труднощів не буває. Коли ж положення проектних ліній визначають лише за лінійними промірами, напрямок просіки доводиться встановлювати в полі. У ряді випадків потрібно відразу ж мати досить точний напрямок, щоб не робити надмірно широких просік, не затрачати часу на вирівнювання їх і тощо.

Нехай, наприклад, за лінією AB (див. рис. 6.15, в) треба прорубати просіку. Спочатку прорубують вузькі просіки назустріч з точок A і B, щоб одержати точку C, після цього вимірюють кут φ і лінії S_1 і S_2. Далі для прорубування просіки треба обчислити кути α і β:

$$\sin\alpha = \frac{l}{S_1}, \quad \sin\beta = \frac{l}{S_2},$$

звідки одержують:

$$\sin\alpha = \frac{\sin\varphi}{S_1 + S_2} S_2; \quad \sin\beta = \frac{\sin\varphi}{S_1 + S_2} S_1.$$

Сума $\alpha + \beta = 180° - \varphi$ слугує контролем для визначення кутів γ і σ. Побудувавши їх біля точок A або B, можна одержати правильний напрямок просіки, проконтролювавши її в точці D за відстанню l.

Якщо на лінії *AB*, що є межею землекористування, посаджені дерева, вирубування яких є недоцільним, можна поряд поставити точку *C*, вимірявши відстані S_1, S_2 і кут φ, й обчислити кути α і β, які будуть поправками до кутів поворотів межі біля точок *A* та *B*.

Довжина лінії:

$$AB = S_1 \cos\alpha + S_2 \cos\beta.$$

Якщо ліс виходить у відкриту місцевість (рис. 6.16, а), то на місцевості знаходять точку *C*, з якої було б видно точки *A* і *B* під прямим кутом. Вимірюють катети *a′* і *b′* і біля точки *A* або *B* будують допоміжний прямокутний трикутник, подібний до трикутника *ACB*, відмірюючи катети *a′* і *b′* пропорційно до *a* і *b* у розмірі, наприклад, 1/2 або 1/3 від їхньої величини. Одержують допоміжну точку *A′*, яка через точку *A* вказує напрямок лінії *AB*.

Звичайно, кут при точці *C* може і не дорівнювати 90°, тоді його вимірюють за допомогою теодоліта і будують у точці *C*.

Точка *B* (рис. 6.16, б) може знаходиться далеко від межі лісу, тоді обирають допоміжну точку *C*, а на лінії *BC* – точку *D*.

На місцевості треба виміряти лінії *BD*, *BC*, *AC* і кут α при точці *C*. Для одержання напрямку *BE* слід побудувати кут α при точці *D* і в напрямку *DE* відміряти стрічкою відстань.

Чим довшою буде орієнтовна лінія *BE*, тим на меншу відстань проектна лінія відхилятися від точки *A*, і чим ближче за величиною кут біля точок *A* і *E* до 90°, тим меншою мірою впливатимуть на похибку напрямки BE похибки вимірювань і побудови кутів у точках *C* і *D*. Якщо кут біля точки *C* невеликий, то точку *C* потрібно вибрати так, щоб одержати в ній прямий кут за допомогою екера, а в точці *D* побудувати цей кут.

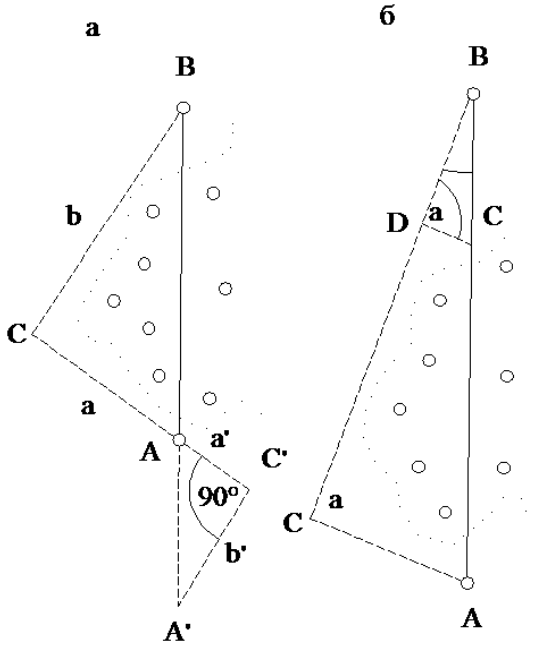


Рис. 6.16. Вимірювання кутів за допомогою екера

Якщо кут біля точки *C* одержаний за допомогою екера і становить 90°, то можна обійтися без точок *D* і *E*, оскільки:

$$\text{tg}\beta = \frac{AC}{BC},$$

причому кут β, що не перевищує 10°, за допомогою логарифмічної лінійки вийде з похибкою, не більшою 2'. Якщо він менший 6°, то його з такою ж точністю можна обчислити за формулою:

$$\beta° \approx \frac{AC \times 57{,}3°}{BC}.$$

Приклад. Довжина лінії *AC* = 20,75 м, а *BC* = 212,8 м (див. рис. 6.16, б), тоді:

$$\beta° = \frac{20{,}75}{212{,}8} 57{,}3° = 5{,}58° = 5°35'.$$

Кут β будують біля точки *B* відносно лінії *BC* й одержують напрямок *BA*, за яким прорубують просіку.

Обхід перешкод при прокладанні проектного теодолітного ходу. Якщо між точками, що є кінцями проектної лінії, є перешкода (рис. 6.17, а), то її можна обійти, будуючи прямі кути теодолітом. У такому разі не слід допускати занадто коротких ліній (менше 30–50 м) і необхідно звертати особливу увагу на центрування інструмента над точками *a*, *b*, *c*, *d*.

Перешкоду можна обійти, побудувавши рівносторонній трикутник (рис. 6.17, б), у вершинах якого будуть кути 120, 60 і 120, відмірявши рівні відстані *ab* і *bc*.

Якщо перешкода є лише невеликою частиною на лінії *AB*, то цю лінію можна прокласти поряд із перешкодою у напрямку *AB* (рис. 6.17, в), попередньо встановивши перед перешкодою віху в точці *C* за відомим кутом α і вимірявши кут α' при новому напрямі лінії *AB′*. При вимірі лінії *AB* з точки *C* опускають до неї перпендикуляр *CS* і вимірюють його. При невеликому зміщенні лінії *AB* (до 2°), відрізки $A_к$ і A_c можна прийняти рівними.

Тоді з відношення:

$$\frac{B'B}{kc} = \frac{AB}{Ac}$$

випливає, що:

$$B'B = \frac{kc}{Ac} AB.$$

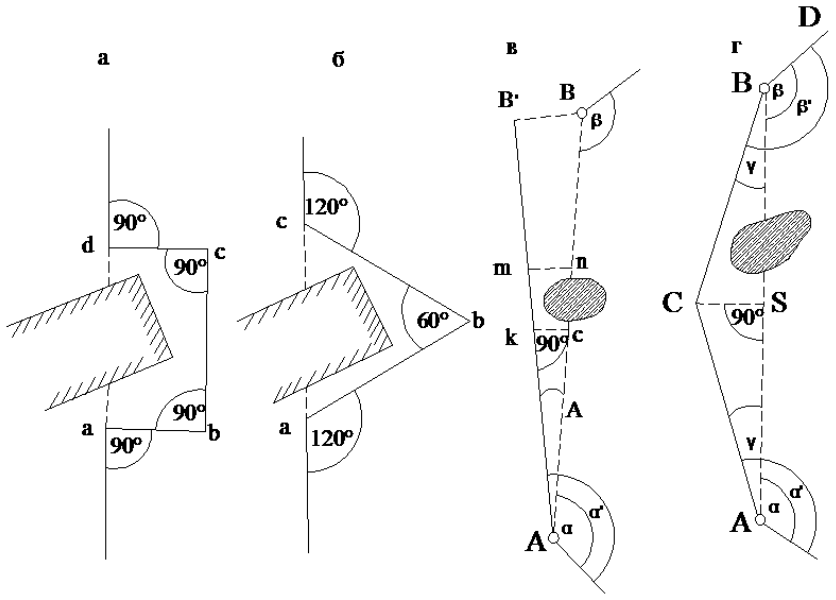


Рис. 6.17. Обхід перешкод при прокладанні проектного теодолітного ходу

Вимірявши на місцевості лінію до точки m, з якої можна відновити перпендикуляр *mn*, визначають його величину:

$$mn = \frac{mA}{kA} kc$$

і в точці *n* ставлять віху. Довжину лінії *AB*' приймають рівною *AB*, а при величині кута $\gamma = \alpha' - \alpha$, що перевищує 1,5°, вводять поправку за відхилення лінії *AB* на кут γ, рівну $\Delta = 2AB\sin^2 \gamma$ або $\Delta = (1{,}5\gamma^2 AB)/10\,000$ й одержують довжину лінії:

$$AB' = AB - \Delta.$$

При подальшому прокладанні ходу від точки *B* біля неї будують кут β кут повороту від напрямку *Bn*, тобто візуючи на точку *n*.

Якщо перешкода на лінії *AB* дуже значна або за умовами рельєфу неможливо побудувати допоміжну точку *B'*, перешкоду можна обійти побудовою на місцевості рівнобедреного трикутника (рис. 6.17, г). Для обходу перешкоди, яка розташована не посередині лінії *AB*, за даними робочого креслення будують у точці *A* кут α, а за проміром:

$$AS = \frac{AB}{2}$$

ставлять у точці *s* віху й опускають перпендикуляр до точки *c*, з якої було б видно місце майбутньої точки *B*. Вимірюють кут $SAC = \gamma$ та обчислюють кут $ACB = 180° - 2\gamma$, вимірюють *AC* і в точці *C* будують кут *ACB*, за яким визначають напрямок *CB*.

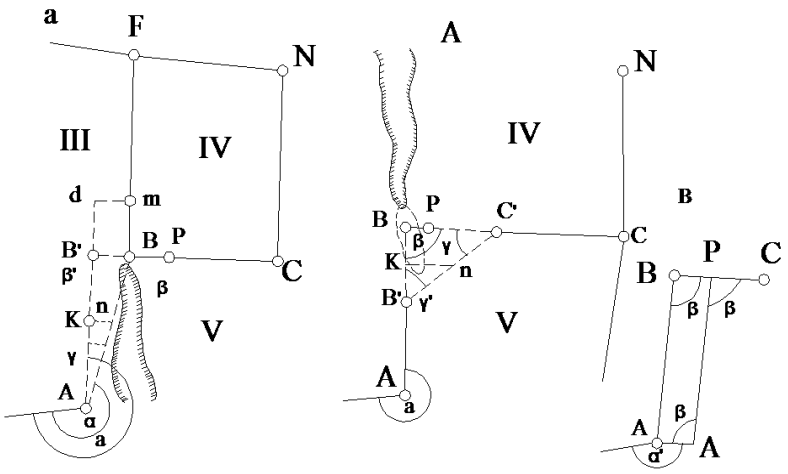


Рис. 6.18. Обхід місця, недоступного для розміщення межового знака

Точку *B* установлюють, відклавши в напрямку *CB* довжину лінії *AC*. У такому разі для визначення напрямку наступної лінії *BD* будують біля точки *B* кут:

$$\beta = \beta + \gamma,$$

візуючи при цьому на точку *C*.

Обхід місця, недоступного для постановки межевого знака. Кутові точки теодолітних ходів іноді потрапляють у незазначені на плані глибокі промоїни, рови, невеликі заболочені блюдця тощо, де утруднені вимірювання і неможливе розміщення межевого знака. Такі ділянки доводиться обходити, а частину межових знаків виносити в місця, зручні для їх розміщення.

У випадку, наведеному на рисунку 6.18, вершина яру за період, що минув після знімання, значно змістилась, як це показано пунктиром. Зміна контуру не була виявлена і не відзначена при коригуванні, й точка теодолітного ходу, де повинен бути межовий знак, потрапляє в яр, що утворився. Потрібно прокласти теодолітний хід, не змінюючи напрямку за лінією *BC*, оскільки вона є межею запроектованих полів та інших ділянок.

Задачу можна розв'язати по-різному: наприклад, будують біля точки *A* (рис 6.18, а) заданий кут α і наскільки можливо провішують лінію *AB*. Потім обирають точку *B′* на місці, зручному для вимірювань, вимірюють новий кут α', провішують лінію *AB′*. При вимірюванні лінії *AB′* проводять із точки до відрізка *kn* паралельно *BC* (за румбом), а точку *n* ставлять у створі провішуваної лінії *AB*. Потім вимірюють відрізки *kn*, *nA* і *aK*. Це дає можливість обчислити довжини *AB′* і *B′B*, виходячи з подібності утворених трикутників,

$$B'B = \frac{kn \times AB}{nA}, \quad AB' = \frac{AB \times kA}{nA}.$$

Біля точки B' кут: $\beta = \beta - \gamma$, де $\gamma = \alpha' - \alpha$ (кути α і β та довжина лінії AB повинні бути на робочому кресленні). Лінія $B'C = BC + B'B$.

Таким чином, є всі необхідні дані для завершення прокладання теодолітного ходу. Залишається тільки визначити місце розташування межового знака між полями III і IV, не порушуючи напрямки меж між ними й зберігаючи передбачену проектом паралельність сторін BF і CN. Для цього обчислюють кут $FBC = 180° - NCB = (BC) - (CN)$, будують його біля точки B' й одержують напрям $B'd$. Відрізок $B'd$ відмірюють із таким розрахунком, щоб зручно було поставити знак у точці m; від точки d під румбом (BC) або під кутом NCB відмірюють $dm = B'B$ і в точці m ставлять межовий знак між полями III та IV.

Потрібно поставити знак також між полями IV та V у точці P (рис. 6.18, б) і зняти вершину яру й поставлені на нових місцях знаки, щоб нанести їх на план і внести поправки до площі відповідних полів та угідь.

У такому разі точку B можна обійти рівнобедреним трикутником $B'BC$, в якому:

$$B'B = BC' = AB - AB'.$$

Отже, кути γ біля точок B' і C рівні й становлять:

$$\gamma = \frac{180° - \beta}{2}.$$

Необхідно визначити довжину $B'C$. Для цього в створі лінії AB вибирають місця, зручні для розміщення точки повороту B' і допоміжної точки $к$; вимірюють відрізки AB' і BCk, а від точки к задають під кутом P напрямок kn, відзначивши його віхами. Потім біля точки B' будують кут, що дорівнює $180° - \gamma$, яким задають напрямок на точку C, вимірюють лінію від точки B' до точки n, в якій перетинаються обидва заданих напрямки, і обчислюють $B'C$, виходячи з подібності трикутників:

$$B'C' = \frac{B'n \times B'B}{B'k}.$$

Біля точки C будують кут $180° - \gamma$. Лінія $CC = BC - BC'$. Тут, як і в попередньому випадку, знімають змінений контур і нове місце встановлення знака у точці P.

Цю задачу можна розв'язати побудовою біля точки A (рис. 6.18, в) кута $\alpha' = \alpha\ (180° - \beta)$, за яким буде задано напрямок, паралельний лінії BC. За цим напрямком відмірюють деяку лінію, щоб із кінця її A' лінією, паралельною AB, можна було вийти в створ лінії BC у деякій точці P. Біля точки A' будують кут β. У такому разі $AB = A'P$, $AA' = BP$ і $PC = BC - AA'$.

6.11. Особливості перенесення у натуру проектів планування сільських населених пунктів

Проекти планування сільських населених пунктів у натуру переносять за тими ж самими способами, що й проекти землеустрою. Особливість перенесення проекту планування полягає в тому, що при камеральній підготовці робочого (розбивочного) креслення й під час польових робіт потрібно зберегти паралельність сторін вулиць і під'їздів, форму та розміри житлових і виробничих комплексів та забезпечити надійніше закріплення проектних точок у натурі. Тому проект переноситься у суворій послідовності від загального до часткового. Тобто спочатку переносять його головні точки, потім – вершини ділянок мікрорайонів або кварталів, далі – межі дрібніших елементів у мікрорайонах і кварталах, після цього для спорудження будівель і нарешті – деталі елементів планування.

Вибір методу перенесення проекту в натуру і порядок роботи залежать від наявності пунктів геодезичної основи та їхньої густоти. Чим густіше вони розташовані, тим простіше й швидше можна перенести проект у натуру.

На рисунку 6.19 зображена частина проекту планування населеного пункту. Головними в цій частині проекту є точки *a*, *b*, *c*, *d*. Пунктами геодезичної основи слугують *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F*. Щоб мати положення головних точок проекту на місцевості, існує багато варіантів.

Кожна з точок *a*, *b*, *c*, *d* може бути одержана на місцевості полярним способом відповідно від пунктів *A*, *B* (або *C*), *E* і *F*. Для цього, наприклад, для одержання на місцевості точки *a* визначають за планом відстань *Aa* з урахуванням деформації паперу і вимірюють транспортиром прилеглий кут *CAd*, а для контролю побудови – прилеглий кут *aAD*. Результат визначення кутів буде точнішим, якщо зняти із плану координати точки *a* і розв'язати обернену геодезичну задачу. Якщо вказаним способом головні точки *a* і *b* будуть одержані на місцевості, то відстань *ab* становитиме:

$$ab = 15h + l, \qquad \text{(а)},$$

де *h* – ширина присадибної ділянки (див. рис. 6.19), *l* – ширина проїзду. Проте похибки визначення відстаней і кутів за планом можуть порушити зазначену рівність на граничну величину:

$$\Delta = 1\ \text{мм} \times M,$$

де *M* – знаменник чисельного масштабу плану.

Тому потрібно точку *a* чи *b*, а краще й *a*, і *b* перемістити в створі лінії *ab* так, щоб зазначена рівність задовольнялася. Значення лінії *ab* можна проконтролювати, камерально обчисливши її за координатами точок *a* і *b*, установлених за планом. Після цього визначають поправки в координати цих точок за дирекційним кутом (*ab*) і величинами зміщень, а потім

обчислюють відстані й дирекційні кути відрізків *Aa* і *Bd*, розв'язавши зворотну геодезичну задачу.

Положення точок *a* й *b* на місцевості можна знайти за точками *a′* і *b′* на лініях *AD* та *BC*. Відрізки *Aa′*, *a′a*, *BB′* і *b′b* визначають за планом, а перпендикуляри *a′a* й *b′b* на місцевості будують за допомогою екера або теодоліта.

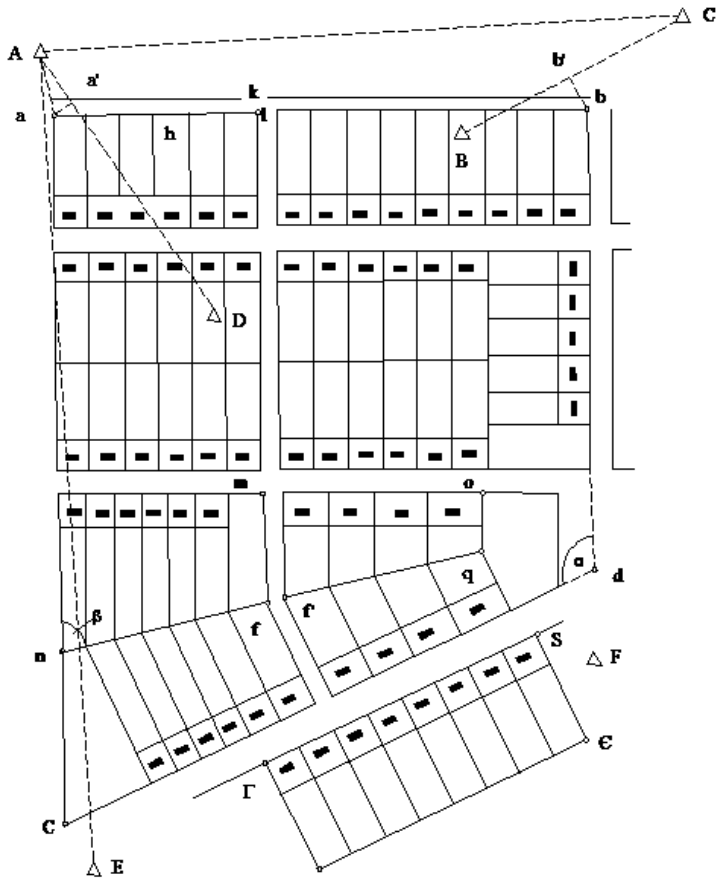


Рис. 6.19. Перенесення в натуру проектів планування сільських населених пунктів

Після одержання точок *a* та *b* на місцевості їхнє положення виправляють, щоб задовольнялося рівняння (а).

Аналогічно одержують на місцевості положення головних точок *c* і *d*, при цьому їхнє значення лінії можна мати залежно від *ab* за формулою:

$$cd = \frac{ab}{\sin\alpha}, \qquad (б)$$

в якій значення кута α можна визначити транспортиром за планом.

При визначенні положення точок *a*, *b*, *c*, *d* щодо пунктів *A*, *B*, *E*, *F* сторони *ab* й *ac*, *ab* і *bd* можуть бути неперпендикулярними. Щоб забезпечити паралельність і перпендикулярність ліній проекту, дві найвіддаленіші одна від одної головні точки (в нашому випадку точки *a* і *c*) переносять у натуру, як зазначалося раніше. Потім у точці a будують кут 90°, відмірюють

лінію *ab* відповідно до рівності (а), після чого в точці *b* будують кут 90° і відмірюють лінію *bd*. Контролем перенесення у натуру точок *c* і *d* слугує вимірювання на місцевості ліній, які повинні дорівнювати величині, що визначається за формулою (б).

За такого способу перенесення проекту окремі його елементи повинні бути між собою геометрично пов'язані. Так, лінія ac має становити:

$$ac = bd - ab \times \mathrm{ctg}\alpha$$

або

$$bd = ac + ab \times \mathrm{ctg}\alpha.$$

При перенесенні проекту на місцевість до значень проектних ліній додають поправки за нахил, якщо кут нахилу місцевості перевищує 1,5°. Усю роботу з підготовки до перенесення проекту в натуру можна також виконати таким чином: визначити за планом координати точок *a* і *b* й обчислити за ними напрямок лінії *ab*. За даними для планування визначають довжини ліній *ac*, *ab* і *bd*, а потім за прямими кутами в точках *a* й *b*, та за вказаними лініями щодо графічних координат точок *a* обчислюють координати точок *b*, *c* і *d*. За різницями координат цих точок та наявних пунктів геодезичної основи можна одержати прилеглі кути й лінії для перенесення проекту в натуру.

Після одержання на місцевості головних точок проекту способом промірів визначають положення вершин кварталів. Положення точки *f* одержують, провішуючи вершини кварталів *k* і *m* і відмірюючи відстань *mf*. Положення точки *q* визначають за перпендикуляром, установленим із точки *o*. Контролем слугує те, що точки *n*, *f* і *q* повинні лежати в одному створі. Для цього спочатку необхідно мати на місцевості положення точок *n* та *q*, а потім у перетині створів ліній *km* і *nq* – положення точок *f*. Слід і в цьому кварталі ув'язати геометрично елементи проекту *nf*, *ff'* та інші за допомогою формул:

$$nf = \frac{ak}{\sin\beta}; \quad ff' = \frac{l}{\sin\beta}.$$

Положення вершин кварталу *rstu* визначають на місцевості відносно лінії *cd*.

За відсутності будь-яких закріплених на місцевості точок геодезичної основи головні точки проекту *a* і *b* (рисунок 6.20) одержують, спираючись на кути існуючих будівель *A* й *B*, відносно яких спочатку одержують точки *a'* і *b'*, а потім за перпендикулярами до лінії *a'b'*, – положення шуканих точок *a* і *b*.

Дуже часто перед перенесенням проекту в натуру на місцевості будують сітку, за якою переносять проект у натуру. Перед зведенням будівлі визначають на місцевості положення її елементів відповідно до складеного проекту. Геодезичні роботи, виконані при цьому, називають розбивкою (за термінологією будівельників).

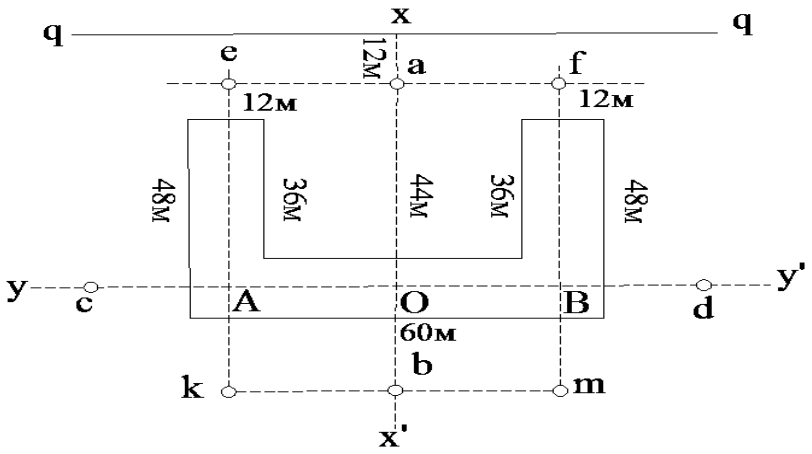


Рис. 6.20. Перенесення осей будівлі в натуру

На рисунку 6.20 показана лінія *qq*, що є межею кварталу або лінією будівельної сітки. На ній знаходять точку х, опускають із неї перпендикуляр *xx′*, що являє собою вісь будівлі, відмірюють на ньому відстань *xo* = 12 + 44 + 6 = 62 м. В одержаній точці за допомогою теодоліта опускають до осі *xx′* перпендикуляр *yy′*, який є другою віссю будови. Положення осей *xx′* та *yy′* закріплюють на весь час будівництва знаками *a*, *b*, *c*, *d*, установленими за межами майбутньої будівлі. В точках *a* й *b* опускають в обидві сторони перпендикуляри до осі *xx′*, відмірюють за ними 24 м і встановлюють знаки в точках *e*, *f*, *k*, *m*. У точках *A* і *B* забивають кілки із цвяхами і за допомогою теодоліта перевіряють перпендикулярність осей *ek* і *fm* до осі *yy″*, а отже, й паралельність цих осей.

Після розбивки осей на відстані 2–3 м від майбутніх стін будівлі ставлять стовпи з прибитими до них дошками. Верхні ребра цих дошок повинні бути горизонтальними і паралельними до майбутніх стін. На верхніх ребрах дошок відзначають продовження внутрішніх і зовнішніх стін майбутньої будівлі, краю фундаменту, котловану для фундаменту та ін. При ритті котловану й закладання стін між цвяхами на ставках натягують шнур або дріт.

Елементи будівлі, що мають круглі обриси, виносять на місцевість відносно центру кола, положення якого визначають при розбивці.

6.12. Передача позначки на дно котловану. Відбиття лінії затоплення

Мета передачі позначки на дно котловану полягає у визначенні позначки репера, встановленого на дні виритого котловану для порівняння її з проектною відміткою. Якщо котлован неглибокий чи укоси його пологі, то роботу можна виконати звичайним способом геометричного нівелювання з середини однієї або кількох станцій. Якщо котлован глибокий і укоси пологі, то роботу виконують за допомогою двох нівелірів (із рейками) та металевої рулетки (рис. 6.21, а).

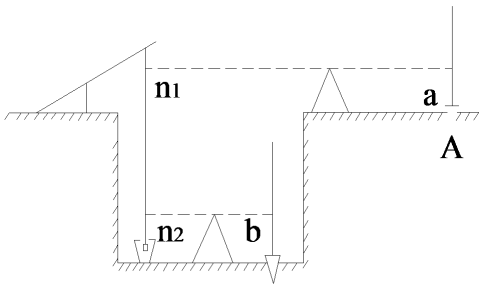


Рис. 6.21. Визначення перевищення між двома точками

Рулетку закріплюють на кронштейні з початком відліку (нульовим індексом) угорі, внизу підвішують вантаж, відповідний натягу при компаруванні рулетки, й поміщають його у відро з рідиною. Відліки за рулеткою n_1 і n_2 проводять одночасно, після цього беруть відліки за рейками *a* та *b*, які стоять у точках *A* і *B*.

Якщо відома відмітка *A* (H_A), то позначка дна котловану *Нв* буде:

$$Нв = HA + \alpha - (n_1 - n_2) - b.$$

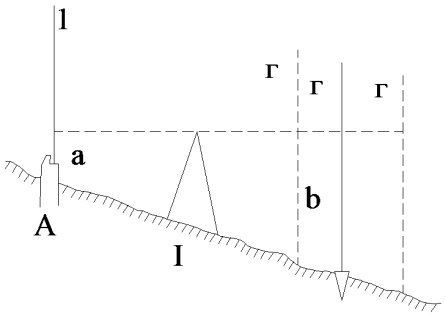
Аналогічним способом може бути передана відмітка на високі частини будівлі.

Лінію затоплення відбивають у зв'язку з підвищенням рівня води у водоймах, яке, викликаючи затоплення прилеглої території, утворює водосховище. Тому ще до наповнення водосховища виникає необхідність визначити на місцевості положення лінії майбутнього урізу води – горизонталі затоплення. Вона має хвилясту криву і закріплюється у характерних вигинах знаками і слугує юридичною межею для вилучення земель із сільськогосподарського використання. При цьому ламана лінія, закріплена знаками, не повинна відходити від горизонталі затоплення більш як на 25 м. Відбиття лінії затоплення – відповідальна частина геодезичних досліджень, тому що створення водосховища може бути пов'язано із знесенням промислових підприємств, затопленням місць корисних копалин, житлових будинків і навіть цілих населених пунктів.

Для забезпечення необхідної точності відбиття лінії затоплення заздалегідь прокладають нівелірний хід із закріпленням його реперами й щодо цих реперів визначають положення точок на горизонталі затоплення за допомогою геометричного або тригонометричного нівелювання, а в лісовій місцевості з крутими берегами річки – і за допомогою барометричного нівелювання.

Положення лінії затоплення відшукують шляхом наближення, переміщуючи рейку чи барометр по схилу. Наприклад, встановивши нівелір у точці 1 (рис. 6.22, б), а нівелірну рейку 1 на репері *A*, за відліком *a* визначають горизонт інструмента:

$$ГІ = H_{реп} + \alpha.$$



б

Рис. 6.21. Визначення перевищення між двома точками

Якщо горизонталь затоплення має відмітку ГЗ, то відлік *b* за рейкою 2 на горизонталі затоплення повинен бути:

$$b = \text{ГІ} - \text{ГЗ}.$$

Ці точки закріплюють на місцевості кілками приблизно через 100 м і знаками через 1 км. У населених пунктах горизонталь затоплення відшукують ретельніше й точки на горизонталі затоплення закріплюють кілками через 50 м, знаками – через 0,5 км. Для нанесення лінії затоплення на план по точках прокладають теодолітні ходи.

Створення водосховища змінює режим ґрунтових вод, унаслідок чого поряд із лінією затоплення виникає необхідність визначати і лінію підтоплення та заболочування пологих берегів водосховищ. Лінія підтоплення розміщується вище від лінії затоплення, і в межах її також переносять будівлі, вилучають землі із сільськогосподарського використання і проект організації території складають з урахуванням положення лінії підтоплення, яку також потрібно визначати на місцевості й наносити на план.

?

Завдання для самостійної роботи

1. Назвіть основні особливості технічної дії перенесення проекту в натуру.
2. Способи перенесення проектів у натуру, доцільність їх застосування.
3. Випадки застосування теодоліта при перенесенні проекту в натуру.
4. Перерахуйте основні складові підготовчих робіт при перенесенні проектів у натуру.
5. Назвіть основні елементи організації роботи з перенесення проекту в натуру.
6. Які основні способи перенесення проектів у натуру?
7. У чому полягають особливості перенесення проектів у натуру, які способи перенесення використовують у цих випадках?
8. Від чого залежить значення середньоквадратичної розбіжності для ліній при перенесенні проекту в натуру?
9. Назвіть основні особливості при перенесенні проекту в натуру згідно з матеріалами аерофотознімання.
10. За допомогою якого способу розподіляють нев'язку в натурі?
11. Які заходи необхідно застосовувати для забезпечення паралельності та перпендикулярності проектних ліній?
12. Які існують форми контролю обчислень при здійсненні землевпорядного проектування?
13. Назвіть основні способи перенесення об'єктів у натуру.

Навчальний тест

1. Способи перенесення проекту в натуру:

1) промірів – вимірювальним;
2) кутомірним – теодолітом із вимірювальним;
3) графічним – мензулою;
4) усі відповіді правильні.

2. Доберіть правильні відповіді.
Підготовчі роботи складаються з:

1) огляду місцевості, якщо роботу виконують особи, не знайомі з нею;
2) встановлення способів перенесення проекту в натуру;
3) згущення опори для перенесення проекту;
4) обчислення кошторису проведення робіт;
5) визначення величин ліній і кутів для перенесення проекту;
6) проведення аерофотознімання;

7) надписування величин на проектному плані;
8) складання робочого креслення перенесення проекту;
9) усі відповіді правильні.

3. Коли відліки промірів беруть двічі для уникнення похибок при визначенні довжини полів, земельних масивів?

1) до прикопування місця встановлення межового знака і для контролю – після прикопування;
2) до прикопування місця встановлення межового знака;
3) після прикопування місця встановлення межового знака – для контролю;
4) не виконують двічі.

4. Знаки для закріплення межі ділянок обкопують курганами заввишки, м:

1) 0,5–0,4;
2) 0,3–0,5;
3) 0,3–0,7;
4) 0,7–1,2.

5. У чому полягає перенесення проекту землеустрою в натуру:

1) встановленні межових знаків;
2) прокладенні теодолітних ходів;
3) прокладені та закріплені на місцевості меж ділянок, доріг тощо, які не запроектовані на плані;
4) прокладені й закріпленні на місцевості меж ділянок, доріг тощо, які запроектовані на плані**.**

6. Чому дорівнює похибка визначення довжини лінії на плані за допомогою графічного способу, якщо на місцевості вона становить 0,8 м, а масштаб плану – 1:10 000, мм?

1) 0,08;
2) 0,008;
3) 0,8;
4) 0,1.

7. Вкажіть формулу визначення похибок положення точок *a*, *c* на плані:

1) $m_{ca} = \sqrt{\frac{m_c^2 + m_a^2}{2}}$;

2) $AS = \frac{AB}{2}$;

3) $\frac{B \times B'}{k \times c} = \frac{A \times B}{A \times c}$;

4) $mn = \frac{m \times A}{k \times A} k \times c$.

де m_{ca}, m_c і m_a – похибки

8. Похибку положення проектної точки *a* відносно вихідної *A* визначають за формулою:

1) $m_{t_a}^2 = m_s^2 + (s \times \frac{m_a}{p})^2$;

2) $mn = \frac{m \times A}{k \times a} k \times c$;

3) $v = 0{,}5(v_{\text{пас}} + v_{\text{виїм}})$;

4) $h = \frac{x + y}{\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\beta}$.

9. Назвіть способи графічного визначення геодезичних даних для прокладання проектного теодолітного ходу:

1) вимірювання кутів транспортиром, лінії – вимірювачем;
2) кути і лінії визначають шляхом обчислень за координатами;
3) лінії визначають за координатами, кути – транспортиром;
4) правильні відповіді 1, 2.

10. Середня відносна похибка виміру лінії вимірювальним приладом становить:

1) 1/3000;
2) 1/2000;
3) 1/1000;
4) 1/1500.

Ключі: 1–4; 2–1, 2, 3, 5, 7, 8; 3– 1; 4–1; 5–4; 6–1; 7–1; 8–1; 9–4; 10–2.

Розділ 7

ТОЧНІСТЬ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

7.1. Точність проектування площ ділянок аналітичним способом і порівняльна точність проектування різними способами

Оскільки аналітичний спосіб проектування застосовують за наявності мережі теодолітних ходів, на основі яких головним чином, і проводять проектування, точність проектування цим способом залежить тільки від точності кутових і лінійних вимірювань.

Не зупиняючись на визначення впливу похибок кутових вимірювань на похибку площі, бо для не видовжених зімкнутих фігур цей вплив порівняно невеликий, установимо похибку площі залежно від похибок лінійних вимірів, використовують наближену формулу (7.1)

$$\frac{m_P}{P} = \frac{m_S}{S}, \tag{7.1}$$

одержану для випадку, якщо виміряні всі сторони ділянки. Ця формула свідчить, що відносна похибка площі ділянки така ж сама, як і відносна похибка лінійних вимірювань.

Приймемо середньоквадратичну відносну похибку вимірювання лінії вимірювальним приладом рівної 1/2000, тоді середньоквадратична похибка площі залежно від похибок лінійних вимірів буде:

$$m_{P_F} = \frac{P}{2000}. \tag{7.2}$$

Таку точність у середньому дає аналітичний спосіб проектування. Назвемо цей *випадок першим (I)*.

Розглянемо *випадок II*, коли застосовують графічний спосіб проектування і опорою при проектуванні слугують нанесені на план точки теодолітних ходів.

У такому разі на похибки площ ділянок впливатимуть три види похибок:

1) вимірювань кутів і ліній на місцевості, їхній вплив на похибку площі можна визначити за формулою (7.2);

2) нанесення точок теодолітних ходів на план за координатами, оскільки кожну точку наносять незалежно від інших точок і похибку нанесення можна прийняти 0,018 см, вплив цих похибок на похибку площі можна обчислити за такою формулою (7.3)

$$m_{PV} = 0{,}018\frac{M}{10000}\sqrt{P}\ ; \qquad (7.3)$$

3) властивих графічному способу проектування, вплив яких на площу можна розрахувати за формулою (4.21), якщо не вдаються до графоаналітичного методу.

Для прикладу візьмемо площу 100 га при масштабі плану 1:10 000. Перша похибка:

$$m_{P_F} = \frac{100}{2000} = 0{,}05 \text{ га};$$

друга похибка:

$$m_{PV} = 0{,}018\frac{10000}{10000}\sqrt{100} = 0{,}18 \text{ га};$$

третя похибка:

$$m_{PQ} = 0{,}01\frac{10000}{10000}\sqrt{100} = 0{,}10 \text{ га}.$$

Сумарний вплив усіх трьох похибок для випадку II буде:

$$m_{PII} = \sqrt{0{,}05^2 + 0{,}18^2 + 0{,}10^2} = 0{,}21 \text{ га}.$$

Випадок III, коли графічний спосіб проектування застосовують на плані й опорою для перенесення проекту в натуру слугують контури ситуації. На похибку площі ділянок впливатимуть похибки:

1) положення точок контурів ситуації на плані; їх вплив на похибку площі можна визначити за формулою (2.29), вважаючи, що середньоквадратична похибка положення контурної точки становить 0,04 см;

2) властива графічному способу проектування, передбачена випадком II (похибка *mPQ*).

Для прийнятого раніше прикладу ці похибки будуть:

$$m_{P_S} = 0{,}014\frac{10000}{10000}\sqrt{100} = 0{,}40 \text{ га}; \quad m_{PQ} = 0{,}10 \text{ га},$$

а їхній сумарний вплив:

$$m_{p_{III}} = \sqrt{0{,}40^2 + 0{,}10^2} = 0{,}41 \text{ га}.$$

При проектуванні планіметром розглянемо також два випадки.

Випадок IV – проектування проводять планіметром й опорою для перенесення проекту в натуру слугують нанесені на план точки теодолітних ходів. На похибку площ ділянок впливатимуть m_{PN} і m_{PF}, розглянуті для випадку II, а також похибки, властиві механічному способу. Похибка механічного способу при дворазовому обводі ділянки планіметром буде визначене, згідно з (4.26) за формулою:

$$m_{PR} \approx \frac{1}{\sqrt{2}} 0{,}7 \cdot \times p + \frac{1}{\sqrt{2}} 0{,}01 \frac{M}{10000} \sqrt{P} + 0{,}0003 P,$$

що для нашого прикладу дає величину:

$$m_{PR} \approx \frac{1}{\sqrt{2}} 0{,}7 \cdot \times 0{,}1 + \frac{1}{\sqrt{2}} 0{,}01 \frac{10000}{10000} \sqrt{100} + 0{,}0003 \cdot 100 = 0{,}15 \text{ га},$$

а сумарний вплив усіх похибок:

$$m_{PIV} = \sqrt{0{,}05^2 + 0{,}18^2 + 0{,}13^2} = 0{,}24 \text{ га}.$$

Випадок V – проектування проводять планіметром й опорою для перенесення проекту в натуру слугують контури ситуації. На похибку площі впливатимуть похибки m_{PS} (див. випадок III) і m_{PR} (випадок IV); їхній сумарний вплив для взятого нами прикладу буде:

$$m_{PV} = \sqrt{0{,}40^2 + 0{,}13^2} = 0{,}43 \text{ га}.$$

Усі наведені похибки є середньоквадратичними, і як граничні можна взяти їхні подвоєні або потроєні значення. При виведенні похибок передбачалося, що роботу з проектування визначатимуть на високоякісному щільному папері, добре вивіреними інструментами, гостро заструганим олівцем, вимірювачем із гостро відточеними ніжками і тощо.; Без дотримання цих умов точність площ ділянок значно знижується.

Випадки II, III, IV та V порівняно з випадком I дають великі похибки, які зростають із зменшенням масштабу плану.

Застосування графоаналітичного способу може збільшити похибки площ, але не більш як удвічі проте похибок, властивих аналітичному способу.

Подальше перенесення проекту в натуру вносить нові похибки (правда, невеликі) у площі проектованих ділянок, про що буде сказано в наступному підрозділі.

7.2. Точність запроектованих ділянок, перенесених у натуру

Врахувати вплив похибок перенесення проекту в натуру на точність площ ділянок дуже складно, тому що частина меж ділянки, перенесених у натуру, може спиратися на раніше прокладені теодолітні ходи. Частина точок ситуаційних контурів, одні межі ділянки переносяться в натуру одним способом, інші – іншим, установлення положення яких залежить від інших, тощо.

Зупинимося лише на простіших, наближених методах визначення похибок перенесення проекту в натуру. Точність перенесення проекту в натуру залежить від точності проведення двох основних стадій цього процесу: камерального визначення геодезичних даних для перенесення проекту і застарілих вимірювань при перенесенні проекту.

Камеральне визначення геодезичних даних необхідне тільки в разі застосування графічного та механічного способів проектування. При використання аналітичного способу проектування геодезичні дані одержують в процесі проектування, і їхня точність залежить лише від похибок вимірювань на місцевості.

Якщо проект переносять у натуру тільки вимірювальним приладом, то з плану потрібно брати проміри з похибкою, яка відповідає точності масштабу (0,08 мм або більш округлено 0,1 мм). Якщо положення поворотних точок ділянки визначають цими промірами, то похибка площі ділянки, що залежить від похибок визначення промірів за планом, виразиться формулою

$$m_{P\text{га}} = 0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}\ .$$

При перенесенні проекту в натуру теодолітом з вимірювальним приладом, тобто для встановлення положення точок у натурі, прокладають проектний теодолітний хід. Похибки положення точок цього ходу залежать від того, яким способом визначають кути і довжини ліній на плані для прокладання проектного ходу в натурі.

Якщо кути й лінії обчислюють за координатами проектних точок, що визначаються за планом, то похибка площі ділянки залежатиме від похибок обчислення координат на плані й виразиться формулою (7.3)

$$m_{P\text{га}} = 0{,}018\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}\ . \qquad (7.3)$$

Проте часто на лінії проектного теодолітного ходу спираються межі проектних ділянок, і положення точок цих меж визначається графічно від точок проектного ходу. У такому разі на похибки площ ділянок впливатимуть додатково похибки положення кожної проектної точки, що дорівнюють $0{,}08 \approx 0{,}1$ мм на плані, і їхній вплив на площу виразиться формулою (4.21).

Геодезичні дані для проектного теодолітного ходу нерідко визначають за планом: кути – транспортиром, а лінії – вимірником за масштабом. При цьому вплив похибок кутових і лінійних вимірів на похибку площі буде більшим, ніж при обчисленні кутів та ліній за графічними координатами проектних точок. Однак, враховуючи, що довжини таких проектних ходів обмежуються певними рамками і що проектні ходи після їх прокладання ув'язуються в натурі, можна прийняти похибки площ ділянок при цьому способі такими ж самими, які виходять при визначенні кутів і ліній за графічними координатами проектних точок.

Польовий процес перенесення проекту в натуру є новим джерелом похибок, проте ці похибки дуже різняться між собою залежно від способу перенесення проекту.

Похибки польових робіт при перенесенні проекту тільки вимірювальним приладом або теодолітом із вимірювальним приладом, коли опорою для перенесення проекту є точки раніше прокладених теодолітних ходів, можна прирівняти до похибок знімання. Якщо як опору використовують контурні точки ситуації, похибки положення яких 0,4 мм на плані, то вплив цих похибок на похибки площ проектних ділянок виразяться такою формулою

$$m_{P\text{га}} = 0{,}04\,\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}\,. \qquad (7.4)$$

Вплив похибок лінійних вимірів у натурі в такому разі буде настільки незначним в порівняно з іншими похибками, що ними можна або знехтувати, або вважати, що їхній вплив на похибку площі ділянки виражається формулою (7.2).

Нарешті проект переносять мензулою з планшета мензульного знімання чи аерознімання і як опору при цьому використовують пункти аналітичної та геометричної мереж. Тоді положення кожної проектної точки в натурі так само, як і при зніманні, визначиться з середньоквадратичною похибкою 0,4 мм на плані й вплив цих похибок на площі проектних ділянок виразиться формулою (7.4).

Сумарні похибки площ проектних ділянок застосовують до п'яти випадків, розглянутих у попередньому підрозділі, будуть такими.

Випадок І. Ділянки аналітичним способом. Похибка площі ділянки залежатиме тільки від похибок вимірювань на місцевості під час знімання або перенесення проекту в натуру й виразиться наближеною формулою (7.2)

$$m_{PF} = \frac{P}{2000}\,.$$

При цьому немає підстав враховувати окремо похибки знімання і похибки перенесення проекту в натуру, оскільки може виявитися, що положення

частини меж ділянки визначено у процесі знімання і частини – при перенесенні проекту в натуру. Це можна вважати рівнозначним тому, якби всі межі були визначені під час знімання чи перенесення проекту в натуру.

Випадок II. Проектування проводять графічним способом, і опорою при цьому слугують нанесені на план точки теодолітних ходів. Проект перенесено в натуру способом промірів або кутомірним. На похибку площі, крім похибок, перерахованих у попередньому підрозділі, впливатимуть похибки визначення промірів за планом, і їхній вплив на похибку виразиться формулою (4.21). Похибки перенесення проекту в натуру й похибки знімання в такому разі є підставою для їх спільного врахування, оскільки одна частина меж ділянки одержана при зніманні та нанесенні на план за координатами, а друга, навпаки, взята за координатами її кінців із цими ж похибками, з якими точки наносять на план. Тому цю частину меж переносять у натуру з такими ж самими похибками, з якими виконували знімання.

Випадок III. Ділянки проектують графічним способом, і опорою для перенесення проекту є контури ситуації. У цьому випадку до двох похибок, зазначених у попередньому підрозділі, додаються похибки графічного визначення промірів на плані, вплив яких на площу ділянки виражається формулою (4.21). Похибками вимірювання ліній вимірювальним приладом у процесі перенесення проекту в натуру можна знехтувати, оскільки вони малі порівняно з іншими похибками.

Випадок IV. Ділянки проектують планіметром, і опорою для перенесення проекту слугують нанесені на план точки теодолітних ходів. Проект перенесено способом промірів або кутомірним.

У такому разі крім трьох похибок, зазначених у попередньому підрозділі, додаються похибки графічного визначення промірів на плані, вплив яких на площу ділянки також виразиться формулою (4.21).

Випадок V. Ділянки проектують планіметром, і опорою є контури ситуації. Проект перенесено способом промірів.

При цьому до двох похибок, указаних у попередньому підрозділі, додається третя, вплив якої на площу ділянки також виразиться формулою (4.21).

Для зручнішого використовування формул при переобчисленні похибок площ ділянок з урахуванням впливу похибок усіх процесів наведемо їх у таблиці.

Похибки в таблиці наведені для ділянки площею 100 га при масштабі проектного плану 1:10 000. Розглянуті похибки є середніми квадратичними, і як граничні можна взяти їхні подвоєні або потроєнні значення.

Крім того для видовжених ділянок ці похибки слід збільшити у $\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$ і мати на увазі, що похибка площі зменшується зі зростанням кількості точок контуру.

Таблиця 7.1 – ***Визначення видів похибок залежно від способів проектування***

Способи проектування	Геодезична опора при перенесенні проекту у натуру	Похибки площ залежно від похибок						Результативна (сумарна) похибка
		Польові виміри на місцевості при знімані та при перенесенні проекту в натуру теодолітом і вимірювальним приладом $m_{PF}=\frac{P}{2000}$	Нанесення точок на план за координатами або визначення координат на плані	Контурні знімання і перенесення проекту мензулою або за контурними точками $m_{Pa}=0{,}04\frac{M}{10000}\sqrt{P_{za}}$	Вирахування площ або проектування		Визначення прикладів графічно за планом (якщо обчислення промірі не застосовується при перенесенні проекту) $m_{Pa}=0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P_{za}}$	
					Графічний спосіб $m_{Pa}=0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P_{za}}$	Механічний спосіб двократним обводом $m_{PK}=0{,}5\cdot p+0{,}007\frac{M}{10000}\sqrt{P}+0{,}0003P$		
Аналітичний	Теодолітні ходи	0,05	–	–	–	–	–	0,05
Графічний	Теодолітні ходи	0,05	0,18	–	0,10	–	0,10	0,23
Графічний	Точки ситуації	–	–	0,40	0,10	–	0,10	0,42
Механічний	Теодолітні ходи	0,05	0,18	–	–	0,15	0,10	0,26
Механічний	Точки ситуації	–	–	0,40	–	0,15	0,10	0,44

Дещо меншими можуть виявитися похибки площ невеликих ділянок, коли опорою для перенесення проекту в натуру є контурні точки ситуації, оскільки при малих за площею ділянках користуються контурними точками, розміщеними близько одна від одної. У такому разі треба приймати похибку положення контурної точки не 0,04 см на плані, а 0,03 або навіть 0,02 см, тобто не похибку положення контурної точки відносно пунктів головного геодезичного обґрунтування, а похибку взаємного положення контурних точок.

Проектування набором контурів можна віднести до випадку V, а комбінування механічного способу з графічним – до випадку IV або V залежно від виду геодезичної опори, використаної при перенесенні проекту в натуру.

При порівнянні похибок, наведених в останньому стовпці табл. 7.1 з похибками, одержаними у попередньому підрозділі, видно, що правильно

вибраний метод перенесення проекту в натуру вносить невеликі додаткові похибки понад ті, які маємо у процесі знімання місцевості, складання плану та проектування ділянок.

У разі застосування графоаналітичного способу проектування похибки площ стають значно меншими, ніж при графічному способі, й наближаються до результатів, одержаних аналітичним способом.

7.3. Точність визначення площі району чи області

Точність визначення площі району чи області залежить від способу встановлення їхніх меж і способу обчислення площі. Якщо площа району становить суму площ окремих контурів у землекористуванні, межі яких визначені положенням теодолітних ходів, не прив'язаних до пунктів державної мережі, і площі в землекористуванні обчислені за координатами вершин теодолітних полігонів, то на площу району впливатимуть головним чином, систематичні похибки вимірювань ліній, унаслідок чого похибка площі району визначиться наближено за формулою (4.15):

$$\sigma P_{\text{сист}} = 0{,}0004 \times P,$$

де P – площа району.

Якщо теодолітні ходи по межах землекористування прив'язані до пунктів геодезичної мережі й площі землекористування обчислені аналітичним способом, то похибка визначення площі району залежить від похибок положення пунктів геодезичної мережі та від похибок прокладання теодолітних ходів, й обчислена площа матиме високу точність – відносна похибка буде 1:5000 і менше. Зі збільшенням площі відносна похибка зменшується.

При визначенні за планами площ землекористування, складової площі району, обчислюють середньоквадратичну похибку площі землекористування, а потім – середньоквадратичну похибку площі району за формулою:

$$m_P = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + \ldots + m_n^2},$$

в якій m_1, m_2, ..., m_n – середньоквадратичні похибки площ землекористування.

Якщо площу району чи області визначають за трапеціями, як було описано раніше, то похибку площі району (області) обчислюють за наближеною формулою

$$m_{P\text{га}}^2 = (0{,}04 \frac{M}{10000} \sqrt{P})^2 + (\frac{1}{\sqrt{N}} 0{,}001 \times P)^2, \qquad (7.5)$$

де P – сума площ частин трапецій, що входять у площу району та обведених планіметром; N – кількість цих частин; M – знаменник чисельного масштабу плану.

Наприклад, для визначення площі району обводили планіметром частини трапецій, які входять у площу району. Загальна площа цих частин – 8251 га. Кількість частин 22. Масштаб планів – 1:10 000. Тоді:

$$m_P = 0{,}04\sqrt{(8250)^2 + (\frac{1}{\sqrt{22}}\ 0{,}001 \times 8250)^2} = 4{,}0 \text{ га.}$$

За граничну беруть подвоєну або потроєну середньоквадратичну похибку, тобто приблизно 10 га. Загальна площа району – 45 680 га. Таким чином, площа району одержана з граничною відносною помилкою 1:4600.

Якщо для визначення площі району (області) використовують планшети різних масштабів, то похибку площі обчислюють за формулою:

$$m_P = \sqrt{\sum_1^N \left\{ (0{,}04\frac{M_i}{10000}\sqrt{P_i})^2 + (\frac{1}{\sqrt{N}}\ 0{,}001 \times P)^2 \right\}}, \qquad (7.6)$$

де P_i – площа кожної обвідної планіметром частини трапеції; M_i – знаменник чисельного масштабу плану; N – кількість частин; P – сума площ частин.

7.4. Точність визначення площ землекористування з урахуванням похибок вимірювань на місцевості й на плані (карті)

Площі цілих контурів у землекористуванні визначають точнішими способами, ніж площі окремих контурів ситуації. Для обчислення площ землекористування застосовують аналітичний чи механічний спосіб.

Похибка площі землекористування, яку визначають аналітичним способом, обчислюють за формулами (4.13) і (4.15), а гранична відносна помилка становить до 1:1000.

Приблизно у два рази підвищується точність визначення площ землекористування, по межах яких прокладені теодолітні ходи, прив'язані до пунктів геодезичної мережі.

Якщо площу землекористування обчислюють за планом, то похибка площі залежить від:

1) похибок вимірювань на місцевості, вплив яких визначається формулами (4.13) і (4.15);

2) похибок графічних побудов плану, що обчислюються за формулами (2.30);

3) похибок власне визначення площі за планом, які обчислюються за формулами (4.21) і (4.27) залежно від застосовуваного способу.

Так при визначенні площі землекористування 1525 га планіметром за планом масштабу 1:10 000 одержимо:

1) за формулами (4.13) і (4.15) $m_{P\text{l}} = 0{,}76$ га, та $P_{\text{сист}} = 0{,}61$ га;

2) за формулою (2.30) при га = 51, $K = 3$, $m_t = 0{,}018$ см (похибка нанесення точки на план за координатами з урахуванням похибок побудови координатної сітки):

$$m_{P_2} = m_t \frac{M}{10000}\sqrt{P}\,\frac{4\sqrt{0{,}5n-1}}{n}\,\frac{K+1}{2\sqrt{K}} = 0{,}018\sqrt{1525}\,\frac{4\sqrt{0{,}5\cdot 51-1}}{51}\,\frac{3+1}{2\sqrt{3}} = 0{,}31 \text{ га}$$

3) за формулою (4.27) при $p = 0{,}1$ га, чотирьох обводах і шести секції по 254 га в кожній

$$m_{P_3} = 1{,}40 \text{ га}$$

Загальна похибка буде:

$$m_{P_0} = \sqrt{0{,}76^2 + 0{,}31^2 + 1{,}40^2} = 1{,}63 \text{ га},$$

а з урахуванням систематичних похибок вимірювань ліній ±1,6 +0,6 га, тобто в межах від –1,0 до +2,2 га. Гранична похибка становитиме ±4,8 +0,6 га, тобто в межах від –4,2 до +5,4 га, а відносна – 1:300.

Наведений приклад свідчить, що на похибку площі найбільше вплинула похибка визначення площі планіметром, і передусім похибка визначення ціни поділки планіметра, яка, по суті, й характеризує похибку площі землекористування.

Якби теодолітні ходи по межах землекористування прив'язували до пунктів геодезичної мережі й площі визначали б за планіметром із застосуванням способу Савича, то вказані вище похибки були б такими:

1) за формулою (4.13) $m_{P1} = 0{,}76$ га;

2) за формулою (2.30) $m_{P2} = 0{,}31$ га;

3) $m_{P3} = 0{,}35$ га (прийнято в чотири рази менше, ніж без використання способу Савича).

Загальна похибка

$$m_{P_0} = \sqrt{0{,}76^2 + 0{,}31^2 + 0{,}35^2} = 0{,}89 \text{ га}.$$

Гранична похибка – 2,7 га, а відносна – 1:570.

Таким чином, при застосуванні способу Савича вплив похибок графічних побудов і визначення площі за планом на загальну похибку площі виявиться приблизно однаковим. Це підтверджує про правильність обраного способу обчислення площі, точність якого відповідає точності плану. Крім того, використання способу Савича дало можливість підвищити точність визначення площі в два рази.

Відомо, що не завжди по межах землекористування прокладають теодолітні ходи. Дуже часто їх наносять на план під час мензульного знімання

або одержують дешифруванням аерознімків. У такому разі на похибку площі землекористування впливають похибки:

1) вимірювань на місцевості,

2) складових плану.

Похибку визначення площі за планом залежно від указаних похибок можна визначити, як і в попередньому прикладі, за формулою:

$$m_{P_{1,2}} = m_t \frac{M}{10000}\sqrt{P}\,\frac{4\sqrt{0{,}5n-1}}{n}\,\frac{K+1}{2\sqrt{K}},$$

де m_t = 0,04 см на плані;

3) визначення площі за планом.

Для землекористування площею P = 1525 га матимемо:

$$m_{P_2} = 0{,}04\sqrt{1525}\,\frac{4\sqrt{0{,}5\times 51-1}}{51}\,\frac{3+1}{2\sqrt{3}} = 0{,}70 \text{ га},$$

m_p = 0,35 га (при застосуванні способу Савича). Загальна похибка буде:

$$m_{P_0} = \sqrt{0{,}70^2 + 0{,}35^2} = 0{,}78 \text{ га},$$

гранична – 2,3 га, а відносна – 1:660.

Слід зазначити, що одержане тут значення похибки 0,70 га зменшене приблизно в 1,5 раза, оскільки положення точок меж землекористування, розташованих близько одна від одної, залежні і їх замість 51 треба прийняти у 2–3 рази менше.

Такі ж розрахунки можна застосувати, якщо землекористування розташоване на декількох планшетах прийнятого в Україні розграфлення. У такому випадку похибку $m_{P1,2}$ обчислюють для всієї площі землекористування, а похибку m_{Ps} – за частинами, розміщеними на окремих планшетах, як корінь квадратний їхньої суми квадратів похибок кожної частини. Якщо частина землекористування займає весь планшет і його площу визначають за спеціальними таблицями площ трапецій на еліпсоїді Красовського, то похибку площі цієї частини приймають такою, що дорівнює нулю. Якщо землекористування займає значну частину планшета, то похибку площі цієї частини обчислюють виходячи з площі меншої частини планшета, тому що в такому разі площу землекористування *Ps* можна визначити як різницю площі трапеції *Pm* і площі, що залишилась *Pч*, тобто:

$$Ps = P_T - P_{\text{ч}}$$

Оскільки $m_{Pm} = 0$, $m_{Pз} = m_{Pч}$.

Із наведених прикладів видно, що відносна похибка визначення площі землекористування у всіх випадках близька до 1:600, і лише при обчисленні

площі планіметром без застосування способу Савича вона значно збільшується. Тому необхідно використовувати спосіб Савича для обчислення площ землекористування (якщо застосування аналітичного способу неможливе чи недоцільне).

Приблизно з такою ж самою точністю вийде площа, якщо її визначати за графічним способом або фотограмметричних координат граничних точок на ЕОМ за алгоритмом (4.1).

7.5. Точність визначення площ угідь

Площі контурів ситуації визначають головним чином, механічним і графічним способами, а також за допомогою палеток і рідко – аналітичним способом. Гранична відносна похибка обчислення площі аналітичним способом залежно від умов вимірювання ліній може бути 1:500 – 1:1000.

Похибка площі контуру будь-якого угіддя визначається як сумарний вплив двох окремих похибок:

1) вимірювань на місцевості та побудови плану, розрахованих за формулами (2.29) або (2.30),

2) визначення площі за планом за формулами (4.21), (4.22), (4.26) і (4.27) залежно від застосовуваного способу.

Наприклад, площу контуру 5 га визначають за планом масштабу 1:25 000 графічним способом; видовженість $K = 3$; за дрібності площі можна скористатися формулами (2.29) і (2.27):

$$m_{P_1} = 0{,}04\frac{M}{10000}\sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}$$

і формулами (4.20) і (4.21)

$$m_{P_2} = 0{,}01\frac{M}{10000}\sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}};$$

$$m_{P_0} = \frac{M}{10000}\sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}\sqrt{0{,}04^2+0{,}01^2} \approx 0{,}04\frac{M}{10000}\sqrt{P}\sqrt{\frac{1+K^2}{2K}}\ .$$

Для нашого прикладу:

$$m_{P_0} = 0{,}04\frac{25000}{10000}\sqrt{5}\sqrt{\frac{1+3^2}{2\times 3}} = 0{,}22 \text{ га}.$$

Як граничну похибку можна прийняти:

$$\Delta P_{\text{га}} = 0{,}1\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}}\ . \qquad (7.7)$$

Для малих площ указана похибка може виявитися трохи перебільшеною, проте для значних площ і суми площ контурів угіддя на планах наземного знімання або аерофотознімання формула (7.7) дуже правильно відображає точність визначення площі угіддя, причому за P приймають площу угіддя в землекористуванні.

Формулу (7.7) можна застосувати і для визначення точності площі угіддя в кількох землекористування, наприклад при обліку земель у районі.

Похибки площ нечітких контурів (болото, чагарник та ін) при зніманні в масштабах 1:10 000 і більше в 1,5–2 рази більші від тих, які виходять за формулою (7.7).

Відносні похибки площ угідь, як свідчить формула (7.7), зростають зі зменшенням площі угіддя і масштабу плану. Вже при P = 100 га на плані масштабу 1:10 000 площа виходить із граничною відносною похибкою 1:100, тобто з точністю до 1%, а в середньому – до 0,4%.

7.6. Вибір масштабу плану

При складанні проекту графічним способом точність проектування і перенесення проекту в натуру залежить від обраного масштабу проектного плану, а отже, і властивою цьому масштабу точності знімання. При виборі масштабу плану, на основі якого розробляють землевпорядний проект або проводять облік земель, керуються:

1) контурністю, тобто розмірами контурів ситуації або їх числа на одиницю площі, наприклад на 100 га;

2) економічними умовами землекористування, визначальними напрямку господарства склад культур, розміри полів сівозмін та інших ділянок;

3) характером рельєфу місцевості і розміром землекористування.

Чим більша контурність, чим менші розміри територіально-господарських одиниць (полів сівозмін та інші ділянки), чим складніший рельєф, тим більший повинен бути масштаб плану, і, навпаки, при великих контурах ситуації, більших розмірах полів сівозмін та інших ділянок, при спокійному рельєфі масштаб плану може бути дрібним.

Масштаб плану в основному зумовлюють економічні й природні умови. Вони визначають напрям сільськогосподарства і рільництва й впливають на розміри полів сівозмін та інших ділянок. Залежно від розміру поля сівозміни затрачається кількість одиниць праці, що витрачається на обробіток сільськогосподарських культур, насіння, пального тощо, планують збір урожаю, враховують затрати праці, і за результатами змагаються бригади та ін.

Щоб похибки планування й обліку праці та продукції не могли завдати шкоди сільгосппідприємству, площі полів визначають із точністю, яка задовольняє господарські вимоги землекористування.

У розділі 4 наведено відносну похибку площі поля, що в середньому приблизно становить 1/300 яка певною мірою може задовольнити

господарсько-економічні вимоги сільськогосподарського підприємства, а в ряді випадків створює певний запас точності. Цю похибку можна розглядати як відносну середньоквадратичну похибку, тобто:

$$\frac{m_P}{P} = \frac{1}{300}. \tag{7.8}$$

Крім того, гранична похибка площі ділянки залежно від похибок вимірювань на місцевості, складання плану й обчислення площ за планом виражається формулою (7.7)

$$\Delta P_{\text{га}} \approx 0{,}1 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{га}}}.$$

Отже, середньоквадратичну похибку можна прийняти такою, яка дорівнює:

$$m_{P\text{га}} \approx 0{,}04 \frac{M}{10000} \sqrt{P_{\text{га}}},$$

тому:

$$\frac{m_P}{P} \approx 0{,}04 \frac{M}{10000} \frac{1}{\sqrt{P}}. \tag{7.9}$$

Оскільки ліві частини виразів (7.8) і (7.9) рівні:

$$0{,}04 \frac{M}{10000} \frac{1}{\sqrt{P}} \approx \frac{1}{300},$$

звідки:

$$M \approx 1000 \sqrt{P_{\text{га}}}. \tag{7.10}$$

У цій формулі M – знаменник чисельного масштабу плану. Таким чином, якщо середня площа поля сівозміни P = 100 га, то $M \approx 10\,000$, тобто потрібен план масштабу 1:10 000. При P = 400 га маємо $M \approx 20\,000$, тобто масштаб плану може бути 1:25 000.

Заслуговує на увагу формула, запропонована М.Є. Нехорошевим (Теоретичні та методичні проблеми землеустрою на сучасному етапі. Тези доповідей на Всесоюзній конференції М., 1974. – С. 22)

$$M = 6 \times 10^6 \frac{m_0 \sqrt{P}}{m_t B},$$

де m_o – задана відносна середньоквадратична похибка площі ділянки; m_t – середня квадратична помилка взаємного положення точок ділянки на плані (наприклад, 0,4 мм); B – середня економічна оцінка землі на об’єкті за 100-бальною системою.

Оскільки формулу (7.7) можна прийняти як для одного контуру, так і для суми площ контурів будь-якого угіддя, формулу (7.10) можна використати і у тому разі, якщо поле сівозміни являє собою не один масив, а складається з кількох контурів, роз'єднаних балками, ярами, сіножатними ділянками та ін.

Якщо одержана за формулою (7.10) величина знаменника чисельного масштабу відрізняється від загальноприйнятих масштабів, наприклад $M \approx 7000$, то при встановленні масштабу 1:5000 або 1:10 000 керуються іншими чинниками – контурністю, складністю рельєфу тощо. Але формулу (7.10) застосовують у випадках значної контурності сільськогосподарських угідь, коли поля й ділянки проектують набором контурів, і поля проектують механічним способом, при перенесенні проекту в натуру й якості опорні використовують контурні точки ситуації.

В умовах великої контурності, яка спостерігається у степових районах, де при проектуванні ділянок обмежуються прямими лініями лісосмуг, застосовується графічний, графоаналітичний і аналітичний способи. При перенесенні проекту в натуру вимірюються сторони проектованих ділянок і за результатами вимірювань визначають їхні площі. У формулі (7.9) замість 0,04 можна поставити 0,015, у результаті чого формула (7.10) набуде вигляду:

$$M_c \approx 2000\sqrt{P_{\text{га}}}. \qquad (7.11)$$

Практично вказане сприяє тому, що виникає можливість користуватися планами масштабу 1:25 000. Для великого землекористування плани виходять компактними, одноаркушними, зручнішими при проектуванні та інших роботах, пов'язаних із використанням плану.

У сільгосппідприємстві склад угідь, сівозмін і культур неоднаковий, тому господарські вимоги до точності землевпорядних робіт, а отже, й до масштабу плану різні. У зв'язку з цим при виборі масштабу плану виходять із вимог, які ставляться до точності землевпорядних робіт на основних площах використовуваних земель. У більшості землеробських районів це будуть орні землі, використовувані в польових і кормових сівозмінах, що становлять 60–80% площі землекористування.

Щоб не створювати плани різних масштабів на територію одного й того ж самого землекористування, для проектування невеликих за розміром полів сівозмін застосовують аналітичний чи графічний спосіб і переносять проект у натуру за промірами, визначеними при проектуванні. Це дає можливість, не змінюючи масштабу плану, одержати площі полів із високою точністю, з меншою відносною похибкою, ніж це передбачено формулою (7.8), яка задовольняє вимогам сільськогосподарського виробництва.

Для підвищення точності землевпорядних робіт на площах інтенсивніших угідь і сівозмін (сади, виноградники, площі під овочами) застосовують точніші способи проектування або складають на них плани в більших масштабах.

Виходячи з установленої в землеустрої практики, використовують: для внутрішньогосподарського землеустрою масштаби від 1:5000 до 1:25 000 залежно від контурності землекористування, а міжгосподарського – 1:25 000 й 1:50 000 і для планування сільських населених пунктів 1:2000 та 1:5000.

Оригінальний спосіб вибору масштабу плану для проектування об'єктів сільського будівництва, розроблений на основі теорії інформації, запропонований доцентом Ю.К. Неумивакіним.

7.7. Вибір висоти перерізу рельєфу

При складанні проекту за планом із горизонталями визначають: характер рельєфу, перевищення між точками, напрямок та крутість схилів, що як правило виражається нахилами. Це дає можливість правильно розмістити на схилах поля сівозміни й інші господарські ділянки. Достовірність і точність визначення перевищень і крутості схилів залежать від масштабу плану, висоти перерізу рельєфу, характеру останнього і точності, з якою рельєф зображений горизонталями (точності проведення горизонталей). Наприклад, при дуже вираженому рельєфі місцевості з крутими схилами, частими переходами скатів однієї крутизни до скатів іншої від крутості нахилів негативних до нахилів: позитивних потрібні великий масштаб та більша висота перерізу рельєфу, і, навпаки, в рівнинній місцевості зі спокійним рельєфом, пологими схилами вибирають дрібний масштаб та невелику висоту перерізу рельєфу.

Тим часом при великому масштабі плану, зазвичай застосовують малу висоту перерізу і нерідко, вибравши масштаб плану, відповідно до нього вибирають висоту перерізу, керуючись суто геометричними міркуваннями. При цьому вважають, що найбільший кут нахилу місцевості, яка виражається горизонталями, дорівнює 30°. Рельєф місцевості з великими кутами нахилу, де відбуваються зсуви, обвали тощо, показують умовним знаком обриву. Разом із тим вважають, що при великому нахилі горизонталі дуже близько підходять одна до одної й зливаються, якщо проміжок між ними стає меншим 0,2 мм. Якщо товщина горизонталі близька до 0,1 мм, то відстань між горизонталями становить приблизно 0,3 мм. Ця величина є закладкою між сусідніми горизонталями на плані при максимальному куті нахилу 30°. Цій закладці відповідатиме перевищення, тобто в даному разі висоту перерізу рельєфу виражають формулою:

$$h = s \times \operatorname{tg} 30° M \ ,$$

де M – знаменник чисельного масштабу плану. Підставивши в неї значення, одержимо:

$$h = 0{,}3 \times 0{,}58 \times M \approx 0{,}2M \text{ мм} .$$

Щоб вийшло вираженим у метрах, праву частину рівняння треба розділити на 1000, тоді

$$h \approx \frac{0{,}2M}{1000} \text{ м.} \qquad (7.12)$$

Формула (7.12) виражає висоту перерізу рельєфу залежно від масштабу знімання. При цьому для гірської місцевості беруть більше значення, одержувані за наведеною формулою.

Проте при виборі висоти перерізу рельєфу для планів, які складають із певною господарською метою, рідко користуються суто геометричними міркуваннями і, як зазначалося раніше, нерідко при великому масштабі плану беруть більшу висоту перерізу або при дрібному – малу.

При виборі висоти перерізу рельєфу керуються інженерно-господарськими вимогами. Вихідною величиною, за якою можна визначити висоту перерізу рельєфу, є похибка m_h, яку можна вважати допустимою при розподілі перевищення за горизонталями на плані.

Величина m_h входить у формулу (2.34):

$$\frac{m_i}{i} \approx \frac{m_h}{h}.$$

Але нахил i по двох сусідніх горизонталях визначається з точністю до 1/5 величини самого нахилу, тобто:

$$\frac{m_i}{i} \approx \frac{1}{5},$$

тому:

$$h \approx 5m_h. \qquad (7.13)$$

При проектуванні ділянок для механізованого обробітку полів середньоквадратичну похибку визначення перевищення можна наближено прийняти рівною $m_h \approx 1$ м. Тому висоту перерізу рельєфу для цієї мети згідно з формулою (7.13) можна прийняти рівною 5 м, проводячи в потрібних місцях напівгоризонталі.

?

Завдання для самостійної роботи

1. За якою формулою обчислюють точність проектування площ аналітичним способом?
2. З якою точністю переносять проекти у натуру?
3. Яке допустиме значення похибки визначення площі району та області?
4. За якими формулами обчислюють граничні похибки визначення площ при використанні способу Савича?
5. Як обчислюють похибку визначення площі земельної ділянки?
6. Які основні принципи вибору масштабу плану (карти)?
7. Які формули використовують визначення перерізу рельєфу при складанні план (карт)?
8. Як залежить масштаб карти (плану) від обраного перерізу рельєфу при складанні карт (планів)?
9. Як змінюється значення відносних похибок площ угідь залежно від зміни їхніх площ?
10. Якого значення набуває гранична похибка обчислення площі аналітичним способом залежно від умов вимірювання ліній?

Навчальні тести

1. Середньоквадратична похибка визначення площі аналітичним способом:

1) $m_{pf} = \frac{P}{2000}$;

2) $m_{t_a}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})$;

3) $m_{ca} = \sqrt{\frac{m_c^2 + m_a^2}{2}}$;

4) $K = \frac{(a-b)}{h}$.

2. При нанесенні точок теодолітних ходів на план за координатами (похибку нанесення кожної точки приймаємо за 0,018 см) вплив похибок положення цих точок на значення площі можна обчислити:

1) $m_{p_v} = 0{,}018 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P}$;

2) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$;

3) $m_{pf} = \frac{P}{2000}$;

4) $m_{ca} = \sqrt{\frac{m_c^2 + m_a^2}{2}}$.

3. Похибка визначення площі ділянки залежить від похибок визначення промірів на плані, й може виражатися:

1) $m_{pra} = 0{,}01 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P_{ra}}$;

2) $m_{ca} = \sqrt{\frac{m_c^2 + m_a^2}{2}}$;

3) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$;

4) $h = \frac{x + y}{\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\beta}$.

4. Якщо при перенесенні проекту в натуру як опору використовують контурні точки ситуації, похибки положення яких становлять – 0,4 мм на плані, то їхній вплив на площі проектних ділянок обчислюють за формулою:

1) $m_{p_{\text{га}}} = 0{,}04 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$;

2) $m_{pra} = 0{,}01 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P_{ra}}$;

3) $m_{pf} = \frac{P}{2000}$;

4) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$.

5. Якщо площа району чи області визначена за координатами, то на її величини впливатимуть лише систематичні похибки. Похибку визначення площі (Р) району або області обчислюють за формулою:

1) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$;

2) $\sigma P_{\text{сист}} = 0{,}0004 \times P$;

3) $m_{pra} = 0{,}01 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P_{ra}}$;

4) $m_{p_{\text{га}}} = 0{,}04 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P_{\text{га}}}$

6. Якщо теодолітний хід був прокладений не по межі землекористувань, а межа одержана шляхом дешефрування аерознімків, тоді похибку площі можна визначити за формулою:

1) $\sigma P_{\text{сист}} = 0{,}0004 \times P$;

2) $m_{pra} = 0{,}01 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P_{ra}}$;

3) $m_{p1,2} = m_t \times \frac{M}{10000} \sqrt{P \times \frac{4 \times \sqrt{(0.5 \times n - 1)}}{n} \times \frac{K+1}{2 \times \sqrt{K}}}$;

4) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$.

7. Гранична відносна похибка визначення площі аналітичним способом залежно від умов вимірювання ліній може бути:

1) 1:500 – 1:1000;
2) 1:100 – 1:2000;
3) 1:2000 – 1:3000;
4) 1:500 – 1:2000.

8. При проектуванні полів для механізованого обробітку середньоквадратичну похибку визначення перевищень можна прийняти $m_h \approx 1$ м. Вкажіть висоту перерізу рельєфу, м:

1) 5;
2) 1;
3) 10;
4) немає правильної відповіді.

9. Формула визначення точності площ угідь:

1) $m_{p1} = 0{,}04 \times \frac{M}{10000} \times \sqrt{P} \times \sqrt{\frac{1+K^2}{2 * K}}$;

2) $m_{pra} = 0{,}01 \times \frac{M}{10000} + \sqrt{P_{ra}}$;

3) $m_{ta}^2 = m_s^2 + (S \times \frac{m_a}{\rho})^2$;

4) $\frac{m_p}{P} = \frac{1}{300}$.

10. Середнє значення відносної похибки площі поля, яке задовольняє господарсько-економічні вимоги сільськогосподарського підприємства, становить:

1) 1/200;
2) 1/300;
3) 1/100;
4) 1/400.

Ключі: 1–1; 2–1; 3–1; 4–1; 5–1; 6–3; 7–1; 8–1; 9–1; 10–2.

Розділ 8

ГЕОДЕЗИЧНІ РОБОТИ, ЯКІ ВИКОНУЮТЬ ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ПРОТИЕРОЗІЙНИХ ЗАХОДІВ

8.1. Плани і карти, які використовують при проектуванні заходів щодо боротьби з ерозією ґрунтів

Одним із головних завдань територіального землеустрою є розробка системи заходів, спрямованих на захист ґрунтів від водної та вітрової ерозій. Цим заходами поряд із протиерозійною організацією території передбачено комплекс протиерозійних агротехнічних, меліоративних і гідротехнічних робіт, здійснюваних тимчасово і у взаємній ув'язці з питаннями організації виробництва й території всіх угідь, розміщення дорожньої мережі, меліорації, водопостачання та ін.

Плановою основою для складання проекту комплексних протиерозійних заходів є, як правило, план землекористування в масштабі 1:10 000 із зображенням рельєфу, відкоригований до проведення обстежень і проектування.

За відсутності плану масштабу 1:10 000 можуть бути використані плани масштабу 1:25 000, причому на дуже еродованих частинах землекористування, де необхідне проектування протиерозійних заходів, складають план масштабу 1:10 000 шляхом фотозбільшення, який потім уточнюють в процесі обстежень.

Для проектування та будівництва протиерозійних гідротехнічних споруд проводять спеціальні знімання в масштабах 1:2000 і 1:1000.

8.2. Проектування та перенесення в натуру робочих ділянок

При територіальному землеустрої землекористувань різних форм власності, розташованих у районах поширення ерозійних процесів, передбачають ряд протиерозійних заходів, у тому числі встановлення типів і кількості сівозмін (польові, ґрунтозахисні та ін.). На території кожного сільгосппідприємства здійснюють проводять організацію сівозмін, розміщення полів, робочих ділянок, різних захисних лісових насаджень, польових доріг, скотопрогонів тощо. При розчленованому рельєфі, значній строкатості ґрунтів та їхній еродованості рідко буває можливість проектувати великі,

компактні й агротехнічно однорідні поля сівозмін. У зв'язку з цим виникає необхідність проектування агротехнічно однорідних робочих ділянок, які є постійними територіальними одиницями, і в межах кожної робочої ділянки обробка ґрунту, обробляти в певному напрямку з урахуванням рельєфу. Робочі ділянки залежно від конкретних природних умов проектують з різною конфігурацією. На однорідних схилах крутість до 4°, вони мають прямокутну форму, основні сторони вздовж горизонталей. При цьому кут нахилу вздовж довгих сторін не повинен перевищувати 1,5–2°, щоб виключити можливість розмиву ґрунтів уздовж межі.

На крутих схилах зі складним рельєфом, що не дає змогу проектувати прямолінійний обробіток упоперек схилу через великі поздовжні нахили, робочі ділянки довгими сторонами розміщують за горизонталями з тим, щоб забезпечити контурний (криволінійний) обробіток ґрунту.

Межі робочих ділянок на місцевості визначають при перенесенні в натуру проекту внутрішньогосподарського землеустрою. Прямолінійні межі робочих ділянок переносять у натуру способами, описаними в розділі 6. Контурні межі робочих ділянок (розташовані за горизонталями) переносять у натуру за допомогою нівеліра або теодоліта, тахеометра, а іноді – екліметра.

Поворотні точки робочих ділянок закріплюють на місцевості знаками та обкопують курганами (розміри і висота яких така ж сама, як перенесенні меж полів сівозмін). На знаку, крім номера сівозміни та номера поля, вказують номер робочої ділянки. Межі робочих ділянок, якщо вони не збігаються з контурами місцевості, проорюють в одну борозну.

Захисні лісові насадження сприяють запобіганню розвитку ерозії ґрунтів. Правильно створена система захисних лісових насаджень зменшує розвиток ерозії, регулює і певною мірою затримує поверхневий стік, захищає ґрунт від змиву й розмиву талими та зливовими водами.

Залежно від природних умов у районах із горбистим рельєфом, де розвинуті процеси водної ерозії ґрунтів, проектують полезахисні роздільні, водорегулювальні, прибалкові лісосмуги, які є межами полів і робочих ділянок.

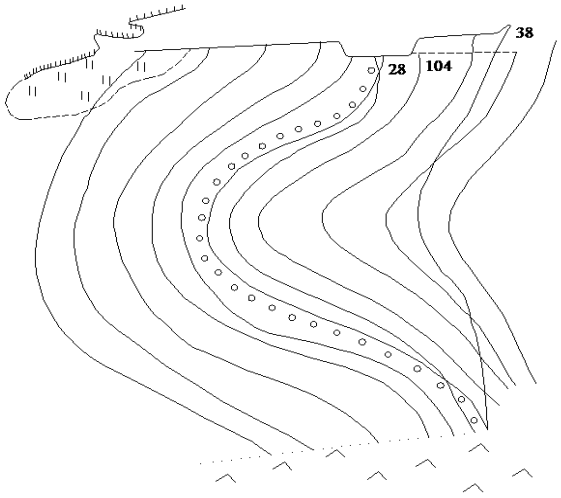


Рис. 8.1. Розміщення лісосмуг за горизонталями

Якщо проектовані лісосмуги розміщують за прямими межами, то їхнє місце розташування визначають за допомогою теодоліта і вимірювального приладу від точок геодезичної опори або за допомогою лінійних приладів від контурних точок, як описано в розділі 6. Особливу увагу при цьому звертають на дотримання паралельності сторін полів і робочих ділянок, по яких розміщують лісосмуги.

При закладанні лісосмуг за горизонталями початкові й кінцеві точки визначають у натурі промірами від характерних контурних точок. Форма контурних лісосмуг залежать від положення горизонталей (рис. 8.1). Їхнє положення в натурі визначають за допомогою нівеліра й рейки. Для цього в початковій контурній точці ставлять рейкою, а нівелір встановлюють на відстані 100 м у напрямку горизонталі й беруть відлік за нею. Її послідовно переносять у напрямку проектованої смуги і встановлюють у таких точках місцевості, де відлік за нею дорівнюватиме або буде близьким до відліку на початкову точку (з відхиленнями до 5–7 см). Рейку встановлюють на відстані не менш як через 50 м залежно від форм рельєфу та крутості схилу і знайдене положення точок закріплюють кілками.

Закінчивши винесення точок з однієї станції, нівелір переносять на іншу, беруть відлік за рейкою в точці, визначеній на попередній станції, і з цього відліку знаходять наступні точки. По закінченні трасування горизонталей таким способом за знайденими точкам проорюють борозну.

Роботу з трасування горизонталі можна виконати за допомогою теодоліта, встановивши візирну вісь зорової труби у горизонтальне положення за місцем нуля.

У разі складного рельєфу, коли горизонталі часто змінюють напрямок і проектна лінія утворює різкі переломи, лісосмугу спрямовують, але при цьому поздовжні нахили вздовж неї допускають не більше 1,5–2° (нахили повинні виключити можливість розмиву ґрунту).

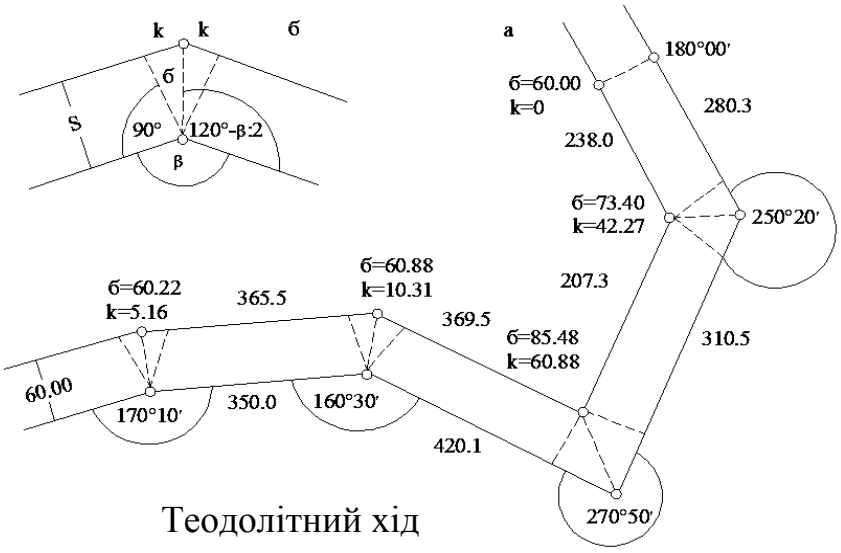


Рис. 8.2. Схема прокладання теодолітного ходу

При перенесенні в натуру проекту *широкої смуги* захисних лісонасаджень, а також скотопрогонів, магістральних каналів тощо, як правило визначають на місцевості поворотні точки смуги за однією її стороною (рис. 8.2). Поворотні точки намічають на місцевості згідно з проектом, складеним на карті. Потім їхнє положення уточнюють промірами відносно чітко розпізнаваних контурних точок. Положення точок може бути встановлено прокладанням проектного теодолітного ходу, який будують на місцевості за кутами і лініями, що визначаються на плані (карті), як сказано в розділі 6.

У процесі побудови теодолітного ходу або прокладання його за точками, наміченими на місцевості, положення поворотних точок і довжин ліній другої сторони смуги встановлюють за так званими бісектрисою *б* (див. рис. 8.2, б) і катетами *к*. Для обчислення *б* й *к* потрібно знати кут повороту смуги β і ширину смуги *S*.

Величини *б* й *к* можна визначити за польовими таблицями розбивки кругових кривих. За кутом φ, який визначається як φ = 180° – β при β <180° і φ = β – 180° при β> 180°, і радіусом кривої *R* за вказаними таблицями вимірюють відрізок *Т* (рис. 8.3, а), що дорівнює *к*, і відрізок *Б*, який становить різницю між *б* і *s*, при цьому *s* = *R*. Таким чином, із наведених таблиць з аргументів φ і *s* = *R* знаходять *k* = *T* і *b* = *s* + *Б*.

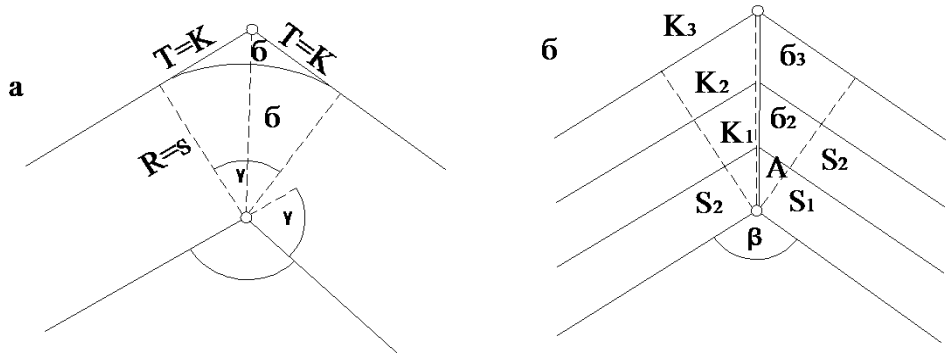


Рис. 8.3. Схема прокладання теодолітного ходу

При побудові багаторядної смуги буде кілька значень *б* при одному значенні β і кількох значеннях *S* (рис. 8.3, б). Теодолітний хід може бути прокладений і посередині смуги. У такому разі значення *б* знаходять за тими ж самими формулами і в тому ж самому порядку.

8.3. Геодезичні роботи, які виконують при проектуванні та будівництві протиерозійних гідротехнічних споруд

Здійснення комплексу організаційно-господарських, агротехнічних і лісомеліоративних заходів значно зменшує поверхневий стік та послаблює ерозійні процеси, однак рельєф часто сприяє концентрації водного потоку,

підсилює руйнівну дію води. Тому поряд із агротехнічними лісомеліоративними заходами передбачено будівництво протиерозійних гідротехнічних споруд, призначених для швидкого і надійного закріплення зростаючих ярів, здатного зупинити руйнування ґрунту на крутих схилах.

Одні протиерозійні гідротехнічні споруди призначені для затримання поверхневого стоку води з водозбору. До них належать водозатримні вали, водонапрямні вали, нагірні канави, розпилення стоку, тераси, протиерозійні стави.

Інші протиерозійні гідрогеологічні споруди служать для безпечного скидання поверхневих вод у гідрографічну мережу (струмки, річки). До них відносять головні яружні споруди – водоскиди: швидкотоки, перепади, трубчасті водоскиди, консольні і шахтні перепади, донні споруди.

Вибір протиерозійних гідрогеологічних споруд, проектованих у загальному комплексі протиерозійних заходів, залежить від конкретних умов, особливостей рельєфу місцевості, ґрунтово-геологічних та інших факторів, що визначають величину стоку з водозбірної площі.

При проектуванні протиерозійних заходів складаються робочу схему, на якій вказують місця знаходження і види гідротехнічних споруд, межі й розміри водозбірних площ. Схему складають на плані землекористування в масштабі 1:10 000 або 1:25 000 із зображенням рельєфу горизонталями.

Водозатримні вали призначені для затримання поверхневого стоку води. Їх проектують на пологих прибалкових схилах (до 6°) із площею водозбору окремо закріплюваних вершин, що не перевищує 20 га.

Після збору матеріалів і детального обстеження закріплених ярів готують завдання на проведення топографічного знімання.

Топографічне знімання для проектування водозатримних валів виконують у масштабі 1:2000 з висотою перерізу рельєфу 0,5–1 м. В особливих випадках, при складному хвилястому рельєфі, знімання проводять у масштабі 1:1000 з висотою перерізу рельєфу 0,5 м.

У площу знімання включають ділянку вище і нижче від вершини яру на 50 м, де проектують будівництво валу чи системи валів із запасом на 30–50 м у боки (рис. 8.5). Зніманню підлягає вся ситуація на ділянці (дороги, лісосмуги, межі угідь). При зніманні закладають 2–3 тимчасових репери у вершині яру з таким розрахунком, щоб при подальшому зростанні яру, а також при будівництві вони не були зруйновані. Репери будуть у подальшому основою для перенесення проекту валів у натуру. Репери закладають і знімають мензулою або тахеометром відповідно до діючих інструкцій із топографічного знімання. План ділянки будують в умовній системі координат і висот.

У процесі проектування водозатримних валів (рис. 8.4) проводять гідрологічний розрахунок (визначають величину водозбірної площі й максимальний обсяг зливового стоку); розраховують протяжність і розміри елементів водозатримного валу.

a – ширина валу по гребеню, вершина основи валу по схилу; h – висота валу; h_r – робоча висота валу; m_1, m_2 – закладення укосів валу; m_3 – закладення верхнього укосу виїмки; Bb – ширина виїмки по верху; B_0 – довжина.

Залежно від рельєфу місцевості та інших умов на водозбірній площі проектують один, два або кілька валів у певному порядку.

Відстань від вершини яру сухого укосу валу залежить від глибини яру біля вершини і складу ґрунтів і визначається за формулою:

$$S = 3h_0K,$$

де h_0 – глибина яру біля вершини, м; K – коефіцієнт, який становить: для супісків, суглинків та лесів 1,4; для глин – 1,2 і щебінь ґрунту – 1,0.

Поздовжня вісь валу розміщується по горизонталі. При складному рельєфі допускається випрямлення осі валу з відхиленням від горизонталі за висотою до 0,3 м (в окремих випадках можливі й більші відхилення).

Для затримання води в кінцях основного валу передбачено глухі або відкриті шпори під кутом 110–140° до основної осі валу. Щоб надлишкова вода не переливалася через вал і не руйнувала його, на кінцях відкритих шпор проектують водообходи, відмітка дна яких дорівнює позначці нормального підпірного рівня ставку (НПУ), яка зазвичай менша від позначки гребеня валу на 0,15–0,35 м. Через кожні 60–100 м валу проектують перемички за типом відкритих шпор для запобігання концентрації води в найнижчій частині ставку водозатримного валу і скиданню всього об’єму води зі ставку в разі прориву валу. Гребінь основного валу, шпор і перемичок проектують на одній позначці.

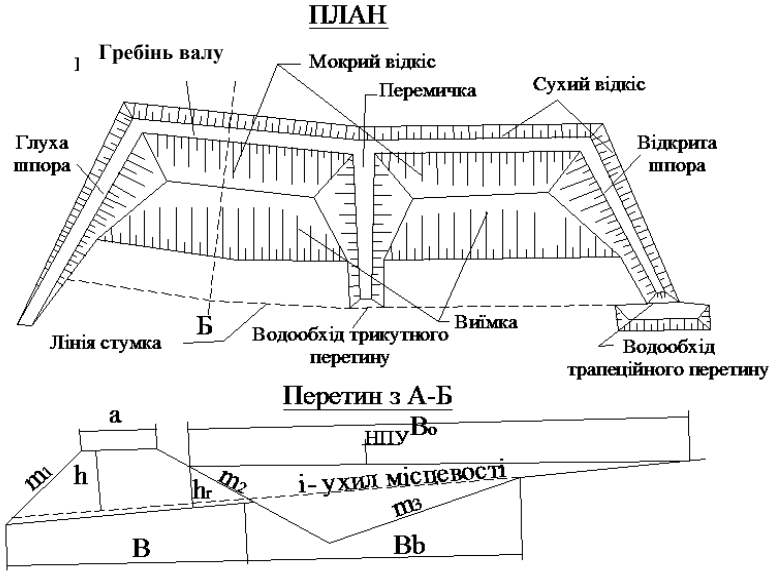


Рис. 8.4. Схема проектування водозатримних валів

Запроектовані водозатримні вали переносять у натуру терасуванням і розбивкою межі основи вала із боку сухого укосу.

Положення вихідної точки *N* (рис. 8.5) виходить шляхом відкладання проектної відстані від вершини яру сухого укосу. Від одержаної вихідної точки *N* за допомогою нівеліра або тахеометра в напрямку горизонталі визначають межу основи валу з боку сухого укосу. Одержану межу закріплюють через 10–15 м кілками.

Поворотні точки межі валу визначають промірами по основі валу чи кутах і промірами від наявних реперів. Напрямок шпор і перемичок встановлюють побудовою проектних кутів теодолітом.

Кут на місцевості можна побудувати і за допомогою хорди. Для цього за заданою величиною кута β розраховують довжину хорди *d*, прийнявши радіус r, який дорівнює 10 або 20 м і використовуючи формулу:

$$d = 2r\sin\beta / 2$$

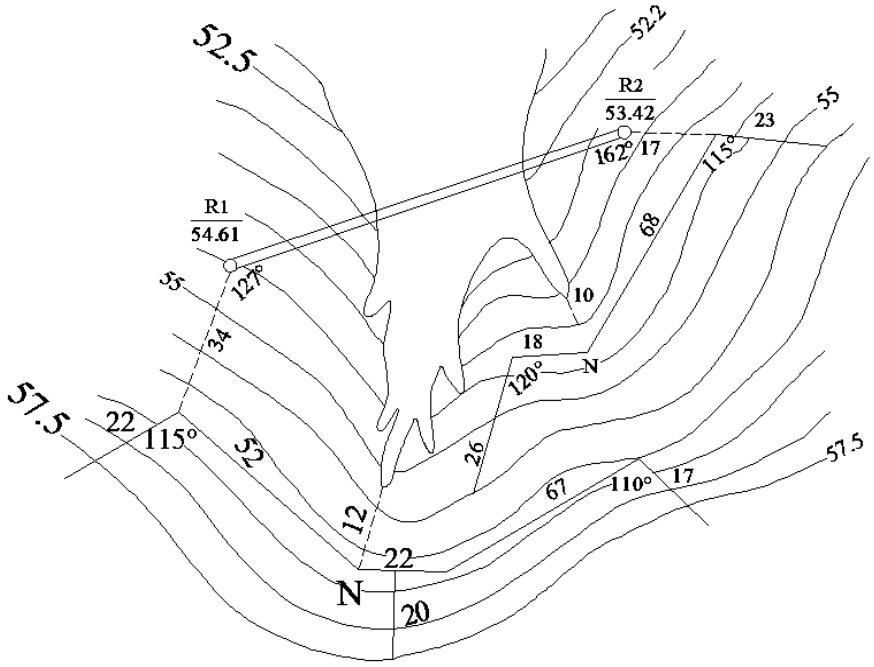


Рис. 8.5. Схема будівництва валу чи системи валів

На одній стороні кута (або її продовженні) відкладають величину радіуса *r*, а напрямок другої сторони виходить лінійною зарубкою за довжинами відрізків радіуса *r* і хорди *d*.

Відмітки кінцевих точок закритих чи відкритих шпор і перемичок визначають нівеліром. При цьому відмітка кінцевої точки закритої шпори повинна дорівнювати позначці гребеня валу, а відмітка кінцевої точки відкритої шпори або перемички – позначці робочої висоти валу (нормального підпірного рівня ставку).

Головні й донні яружні споруди. Скидні гідротехнічні споруди проектують тоді, коли потрібне швидке припинення зростання ярів із метою захисту цінних угідь та об'єктів при неможливості їх закріплення простішими і дешевшими засобами й способами. Такі споруди будують за спеціальними проектами.

Для проектування головних яружних споруд необхідно користуватися картографічним матеріалом, як і для проектування водозатримних валів. Крім того, на ділянці проектування головної споруди необхідне додаткове вертикальне знімання.

При спорудженні донних загат їх розміщують у ряд, щоб нижня підпирала верхню, тобто верх однієї з них і низ іншої були на одному рівні.

Тераси – земляні споруди, призначені для зміни поверхні схилів із метою кращого їх використання в сільському господарстві. Вони слугують для захисту ґрунтів від ерозії та поліпшення їхнього гідрологічного режиму.

За цільовим призначенням, умовами місцевості й технологією нині виділяють три типи терас. На схилах крутістю до 8° проектують гребенеподібні тераси із широкою основою.

На схилах крутістю понад 8° проектують ступінчасті тераси, які найпоширеніші при освоєнні гірських схилів і схилів яружно-балкових систем під багаторічні насадження. Ступінчаста – це виїмково-насипна тераса, поперечний профіль якої показаний на рисунку 8.6. Полотно терас, зокрема гребеня насипного укосу, має бути горизонтальним. У деяких випадках полотну терас надають нахилу, який при уникненні розмиву ґрунту вздовж тераси не повинен перевищувати 0,005.

Поперечний профіль тераси може бути горизонтальним або похилим (± 3°) із нахилом у бік виїмки чи в бік насипу.

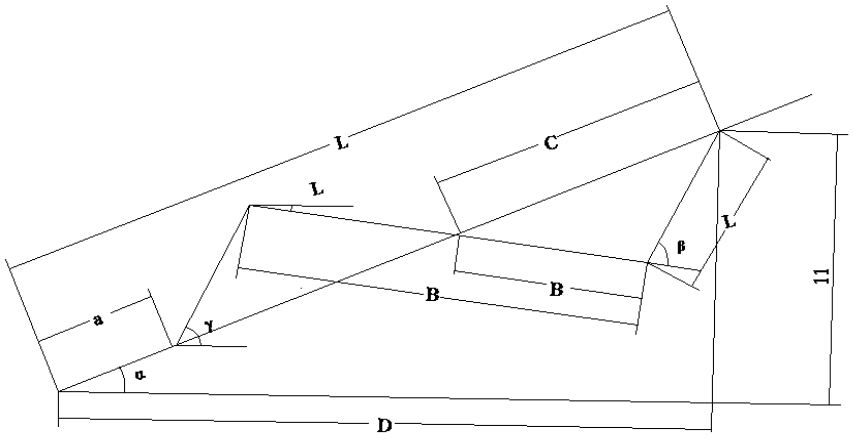


Рис. 8.6. Поперечний профіль тераси
L – ширина смуги (стрічки) схилу, яку відводять під терасу;
B – ширина полотна тераси; b – ширина виїмки по полотну тераси; c – ширина виїмки по схилу; k – глибина виїмки по виїмковому укосу, a – ширина берми (незайманої частини схилу); α – крутість схилу; φ – кут насипного укосу тераси (зазвичай дорівнює куту природного укосу ґрунту – 45°); β – кут виїмкового укосу тераси (60°); γ – кут нахилу полотна тераси; H – висота тераси; D – горизонтальна проекція смуги тераси.

При проектуванні терас користуються великомасштабними картами. На великих схилах геодезичну знімальну опору доцільно створювати у вигляді ланцюга трикутників з вимірюванням базисів вимірювальним приладом з відносною похибкою не більше 1:2000. Висотну опору створюють технічним нівелюванням, а на значних територіях перевищення визначають тахеометром або кіпрегелем. Після створення знімальної основи виконують топографічне знімання в масштабі 1:1000 для ділянок площею менше 1520 га і 1:2000 – для великих земельних масивів. Висоту перерізу рельєфу, зазвичайно приймають 1 м.

Значного поширення набув метод, за якого складання топографічного плану ділянки та розробка проекту терасування схилу здійснюють за даними висотних теодолітних ходів. Спочатку визначають місця для вимірювання базисів, щодо яких у подальшому будуть відмірювати в натурі стрічки терас, дороги, лісосмуги та інші елементи організації території. Вибір місця для базисів залежить від крутості й довжини схилу, а також від ширини терасовані ділянки. Положення першого базису вибирають на найкрутішій частині схилу, властивій для певної ділянки. Базис прокладають по характерних елементах рельєфу, по місцях його перегинів із таким розрахунком, щоб вправо і вліво від нього був по можливості однорідний по крутизні схил. Базиси намічаються на відстані 60–70 м один від одного по межі однієї з терас. Вони завжди повинні бути паралельними горизонталям схилу. Намічають базиси від характерної контурної точки за допомогою нівеліра або теодоліта. Рейкові точки визначають і закріплюють на місцевості при однорідному рельєфі не рідше як через 20–30 м, а при складному рельєфі – через 10–15 м.

Базис проорюють кінним плугом і виставляють на ньому пікети на найхарактерніших точках повороту базису на відстані 50–100 м один від одного залежно від складності рельєфу. Проти пікетів вгорі й унизу виставляють поперечники. Пікети і поперечники в натурі закріплюють кілками та нумерують.

За пікетними точками на вибраному базисі прокладають теодолітний хід, з якого знімають по одному базису вправо і вліво. Відстані між пікетами вимірюють вимірювальним приладом. Додаткові базиси, поперечники, контурі й характерні точки рельєфу знімають полярним способом (на відстані не більше 100–120 м) з вимірюванням відстаней за нитяним далекоміром і кутами нахилу.

Між крайніми пікетами сусідніх базисів визначають горизонтальні кути й кути нахилу, лінії, щоб базиси можна було включити в одну планову та висотну системи і нанести на план. Теодолітні ходи прив’язують до контурних точок або утворюють замкнену систему теодолітних ходів.

Безпосередньо за вимірюваннями на місцевості складають план ділянки в масштабі 1:1000. Горизонталі наносять звичайним методом. На одержаному плані ділянки розробляють проект терасування схилів: проектують дороги, пішохідні стежки, стрічки терас.

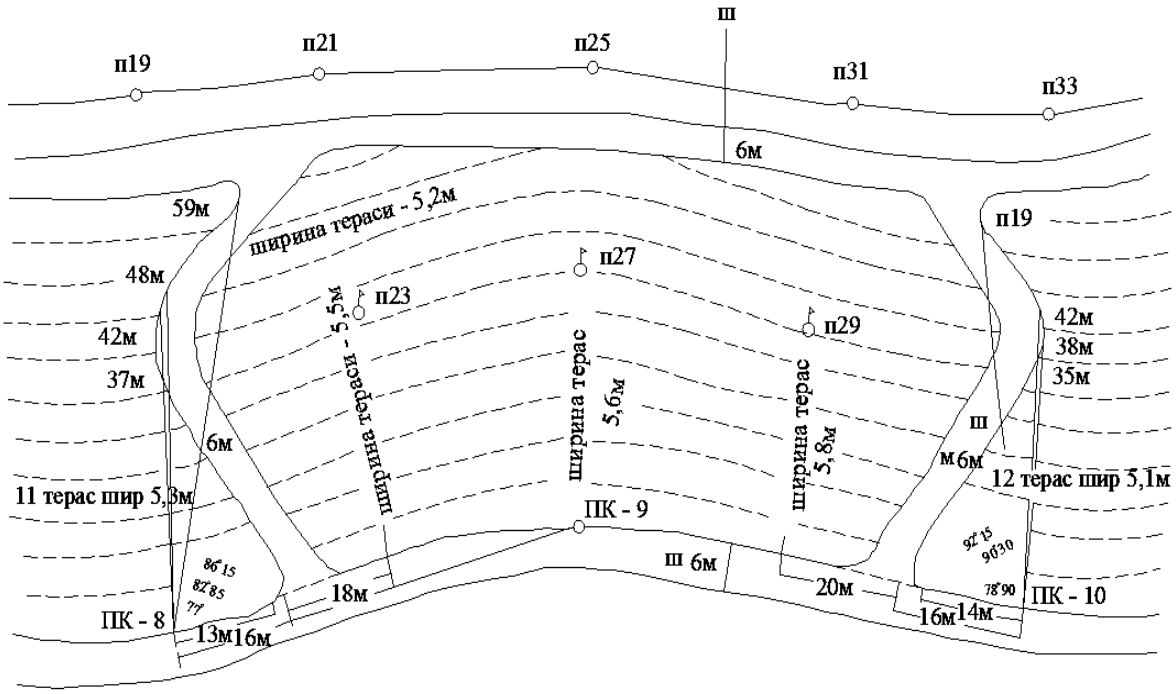


Рис. 8.7. Проект терасування схилів

Для перенесення проекту терасування схилів у натуру складають робоче креслення (рис. 8.7), на якому вказують місце розташування базисів, пікетів, точок поперечників, розміщення терас, доріг, лісосмуг та інших елементів проекту, горизонтальних кутів і відстаней від пікетів до поворотних точок дорожньої мережі, ширину терас у різних місцях ділянки.

Спочатку в натуру переносять дорожню мережу та лісосмуги. При спокійному рельєфі межі стрічок терас переносять у натуру, користуючись базисами та враховуючи зміни ширини смуги тераси залежно від нахилу місцевості.

У разі складного рельєфу на найкрутішому схилі за визначеного шириною стрічки тераси одержують вихідні точки для кожної тераси. На ці точки встановлюють теодоліт або нівелір та інструментально намічають, а потім проорюють межі тераси.

?

Завдання для самостійної роботи

1. Які плани і карти використовують при здійсненні заходів щодо боротьби з ерозією ґрунтів?
2. У яких масштабах проводять знімання при будівництві протиерозійних гідротехнічних споруд?
3. Особливості проектування та перенесення робочих ділянок у натуру.
4. За яким принципом визначають межі робочих ділянок у натурі?
5. Що вказують на робочій схемі, яку складають при проектуванні протиерозійних заходів?
6. У якому масштабі виконуються топографічне знімання при проектуванні водозатримних валів?
7. Який максимально допустимий нахил у поперечному профілі терас?
8. Яке основне призначення проектування терас?
9. Яким чином класифікують основні види терас?
10. З якою метою проводять терасування схилів?

Навчальні тести

1. Якого масштабу план землекористування може слугувати основою для складання проекту комплексних протиерозійних заходів?

1) 1:5000;
2) 1:10 000;
3) 1:20 000;
4) 1:50 000.

2. Лісові смуги закладають за:

1) рельєфом місцевості;
2) горизонталями;
3) естетичними факторами;
4) немає правильної відповіді.

3. Робочі ділянки залежно від конкретних природних умов проектують із різною конфігурацією, при цьому кут нахилу вздовж довгих сторін не повинен перевищувати, град:

1) 1,5–2;
2) 2–3;
3) 1–3;
4) 2–4.

4. Від чого залежить вибір протиерозійних гідротехнічних споруд, проектованих у загальному комплексі протиерозійних заходів?

1) особливостей рельєфу місцевості;
2) ґрунтово-геологічних умов;
3) величини стоку з водозбірної площі;
4) усі відповіді правильні.

5. Топографічне знімання для проектування водозатримних валів виконуються у масштабі 1:2000 із висотою перерізу рельєфу, м:

1) 0,5–1;
2) 0,5–2;
3) 1–2;
4) 1–5;.

6. Тераси – земляні споруди, застосовувані для зміни поверхні схилів із метою кращого їх використання в сільському господарстві. Їх застосовують для:

1) насадження лісосмуг;
2) захисту ґрунтів від ерозії та поліпшення їхнього гідрологічного режиму;
3) зміни поверхні схилів;
4) вирощування сільськогосподарських культур.

7. Для проектування терас використовують великомасштабні карти. На великих схилах доцільно створювати геодезичну основу у вигляді мережі трикутників із виміряним базисом, відносна похибка якого не перевищує:

1) 1:2000;
2) 1:3000;
3) 1:4000;
4) 1:1000.

8. Висотну опору створюють технічним нівелюванням, а на великих територіях перевищення визначають тахеометром або кіпрегелем. Після створення знімальної основи виконують топографічне знімання в масштабі 1:1000 для ділянок площею не менше, га:

1) 15–20;
2) 20–30;
3) 30–40;
4) 40–50.

9. На плані якого масштабу складають робочу схему:

1) 1:10 000;
2) 1:25 000;
3) 1:10 000 або 1:25000 із зображенням рельєфу місцевості горизонталями;
4) 1:5000.

10. Що обов'язково визначають при проектуванні водозатримних валів:

1) гідрологічний розрахунок;
2) довжину валу;
3) розміри елементів водозатримного валу;
4) усі відповіді.

Ключі: 1–2; 2–2; 3–1; 4–4; 5–1; 6–2; 7–1; 8–1; 9–3;10–4.

Розділ 9

ЗАСТОСУВАННЯ МІЖНАРОДНИХ І НАЦІОНАЛЬНИХ СТАНДАРТІВ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ У ЗЕМЛЕУСТРОЇ

Нові технології у геодезії ґрунтуються на базах цифрових картографічних даних і на сучасних цифрових методах топографо-геодезичних і GPS-вимірювань, дистанційного зондування Землі, цифрової фотограмметрії тощо. Це зумовило виникнення й розвиток цифрового картографування, середовищем функціонування та результатом якого є бази цифрових тематичних даних. Такі бази стають новим видом продукції, яку використовують, також і для автоматизованого проектування в задачах землеустрою. Геодезичні дані у цифрових форматах розглядаються не як електронні копії карт та планів, а як самостійний інформаційний ресурс у вигляді баз даних та баз знань про просторові й атрибутивні характеристики об'єктів і явищ усієї геодезичної системи. Завдяки розширенню сфери застосування цифрових методів у різноманітних проектах бази геодезичних даних стають основним видом просторового забезпечення.

Формування національної інфраструктури просторових даних (НІПД) стало розділом програми розвитку топографо-геозедичної діяльності та національного картографування в Україні на 2002–2010 роки, розроблення якої передбачено Указом Президентом України від 1 серпня 2001 року № 575/2001 «Про поліпшення картографічного забезпечення державних та інших потреб в Україні». В Указі до найважливіших програмних завдань віднесено, зокрема, «створення із залученням провідних наукових і виробничих центрів національної та спеціальних інформаційних систем, а також інформаційних банків і баз геодезичних даних для потреб управління та інших потреб на загальнодержавному, регіональному й місцевому рівнях, забезпечення доступу до них відповідно до законодавства заінтересованих підприємств, установ і організацій, вчених та інших громадян». Отже, поставлене завдання повністю відповідає національним і міжнародним ініціативам, спрямованим на формування інфраструктури просторових даних сільськогосподарських територій, і без створення такої системи воно не може бути виконане.

У Постанові Кабінету Міністрів України від 16.01.2003 року № 37 «Про затвердження Державної науково-технічної програми розвитку

топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003–2010 роки» зазначається, яка у розробках цифрових систем використовуються в основному інструментальні програмні засоби іноземного виробництва. Тому необхідно створити національну інфраструктуру просторових даних, що забезпечувала б можливість взаємовигідного використання відповідних відомостей аналогічних інфраструктур країн ЄС та інших зарубіжних держав.

Базовий набір просторових даних НІПД в Україні слід формувати залежно від рівня органів державного управління, оскільки саме вони на перших етапах роботи будуть основними замовниками й споживачами таких даних. Органи державної влади є також основними акумуляторами статистичних даних і даних про стан ресурсів та довкілля, тому їм дуже потрібні інформаційні системи для прийняття управлінських рішень на основі методів цифрового моделювання.

Стандарти – це одна з ключових складових інфраструктури геопросторових даних (ІГД), що є невід'ємною частиною сфери геодезії, картографії й землеустрою. Вони задають тан і правила взаємодії учасників, без яких ця взаємодія неможлива. Актуальними нині є стандарти Міжнародної організації з стандартизації (ISO) та Консорціуму відкритих ГІС (Open Geospatial Consortium, OGC).

Стандарт – документ, що встановлює для загального і багаторазового застосування правила, загальні принципи або характеристики, які стосуються діяльності чи її результатів, із метою досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній галузі, розроблений у встановленому порядку на основі консенсусу.

Міжнародний стандарт – це стандарт, прийнятий міжнародним органом стандартизації.

Міжнародна організація зі стандартизації – офіційна міжурядова організація, стандарти якої спрямовані на забезпечення міжнародного співробітництва і скорочення технічних бар'єрів (політичні, соціальні тощо – поза її компетенцією). Членами ISO є національні органи стандартизації країн-учасниць. Використання стандартів ISO обов'язкове для країн – членів Всесвітньої торговельної організації (ВТО), членом якої нещодавно стала й Україна.

В галузі тематичної інформації стандарти ISO створюються Технічним комітетом 211 (ISO/TC211) «Географічна інформація / Геоматика». Усі стандарти цього напрямку об'єднані в загальну серію за назвою ISO 19100 (деякі з них до цього мали інші номери). Тепер у вказаній серії 43 «номерних» проекти (191101–19143), серед яких 27 діючих міжнародних стандартів і офіційних звітів (на січень 2006 р.), інші – у розробці, за винятком кількох скасованих проектів (тому в нумерації містяться пропуски).

Треба відразу зазначити, що стандарти ISO – необхідна, але недостатня основа для побудови ІГД та її частин. Вони описують концепції геоінформатики, але не описують методів кодування інформації, структури даних і протоколів взаємодії. Ці стандарти визначають загальні принципи, а

не конкретні рішення. Можна сказати, що вони рекомендують, що треба робити, а не як робити.

Інше ж завдання розв'язують стандарти реалізації, в розробці яких найбільше успіхів досяг OGC, його специфікації визнані самою ISO. У даному разі ми бачимо приклад успішного поділу праці між державним і приватним секторами: міждержавна ISO займається загальними питаннями, а об'єднання комерційних виробників OGC – питаннями програмної реалізації та взаємодії програмного забезпечення.

Основними документами є ISO 19101:2002 Geographic information – Reference model (модель стандартизації) (В подальших згадуваннях стандартів серії ISO 19100 слова «Geographic information» і префікс «ISO» для стислості опущені), 19103 Conceptual schema language (мова концептуальних схем (UML), використовуваний у текстах стандартів), 19106 Profiles (правила створення профілів стандартів), 19109 Rules for application schema (правила концептуального моделювання і побудови схем додатків ГІС). Термінологія в рамках серії 19100 узгоджувалася в проекті 19104 Terminology, завершеному наприкінці 2005 року.

Найвідомішим стандартом серії 19100 є ISO 19115:2003 Metadata (Метадані). Його найбільше використовують, і він прийнятий у багатьох країнах як національний стандарт змісту метаданих просторової інформації, а також у міжнародних організаціях. Запис метаданих за допомогою мови XML визначатиметься майбутнім стандартом 19139 Metadata – XML schema implementation.

Принципи комп'ютерного представлення тематичної інформації задаються стандартами 19107 Spatial schema (просторові характеристики об'єктів), 19108 Temporal schema (тимчасові характеристики об'єктів), 19111 Spatial referencing by coordinates (просторова прив'язка за допомогою координат), 19112 Spatial referencing by geographic identifiers (просторова прив'язка за допомогою географічних ідентифікаторів). Ці стандарти описують не формати і структури геодезичних даних, а здебільшого загальні питання.

Хоча для фахівців у галузі цифрового картографування очевидним є використання таких понять, як широта й довгота, проекція, точки, лінії та полігони, – правильно побудована система стандартів повинна визначити всі ці поняття і задати правила їхнього використання для моделювання реального світу. Саме це завдання розв'язується в згаданих стандартах.

У серії 19100 найкраще розроблені концепції, пов'язані з об'єктним (векторним) представленням просторової інформації. Традиційно векторній («дискретній») моделі даних протиставляється растрова («суцільна»). Але в серії 19100 вводиться більш загальне поняття «покриття», тобто суцільне (безперервне) представлення, що може бути реалізовано різними способами. Серед них – полігональні покриття, аналогічні покриттям ARC/INFO, тріангуляційні нерегулярні мережі (TIN) і власне растри.

Більшість стандартів у вказаній галузі нині знаходяться в стадії розробки: 19101-2 Reference model -і Part 2: Imagery (модель стандартизації для зображень), 19115-2 Metadata – Part 2: Extensions for imagery and gridded data (додаткові метадані для зображень ДЗ і растрів), 19129 Imagery, gridded and coverage data framework, 19130 Sensor and data models for imagery and gridded data (моделі даних для зображень і растрових даних). Ці розробки ведуться на основі затвердженого в 2000 році. технічного звіту 19121 Imagery and gridded data (зображення і растри), й на початок 2006 року був затверджений тільки базовий стандарт 19123 Schema for coverage geometry and functions (схема для геометрії та функцій покрить).

Судячи з темпів і тем робіт у галузі растрових даних та покрить, цей напрям не є пріоритетним у ТС211 й орієнтований, головним чином, на стандартизацію в галузі обміну даними дистанційного зондування. У світі не так багато постачальників цих даних, і проблема взаємної сумісності не є такою гострою, як в галузі традиційних цифрових методів.

Із самого початку серії розроблялися також стандарти якості. Тепер затверджені такі, як 19105 Conformance and testing (відповідність і тестування) й 19113 Quality principles (принципи оцінки якості), 19114 Quality evaluation procedures (процедури оцінки якості), готується 19138 Data quality measures (міри якості даних). Взаємозалежним з якістю можна також вважати стандарт 19122 Qualification and Certification of Personnel (кваліфікація і сертифікація персоналу в галузі геоінформатики).

Новим напрямом, який швидко розвивається у серії 19100, є послуги, пов'язані із місцем розташування (Location Based Services). Затверджено стандарти 19116 Positioning services (засобу одержання координат об'єктів) та 19133 LBS і Tracking and navigation (спостереження і навігація на основі веб-служб), готуються 19132 LBS – і Reference model (модель стандартизації LBS), 19134 LBS – і Multimodal routing and navigation (інтермодальна маршрутизація і навігація), 19141 Schema for moving features (схема для об'єктів, що рухаються).

Прямий доступ до баз просторових даних стандартизований у 19125 Simple feature access (доступ до простих об'єктів). Перша частина 19125-1 Common architecture описує загальну архітектуру, друга, 19125-2 SQL option, – розширення мови SQL для роботи з просторовими даними. Стандарт 19125 використовується в сучасних комерційних СУБД і реалізується багатьма виробниками ПЗ ГІС для збереження геодезичних даних у СУБД сторонніх виробників.

Для повноти розгляду згадаємо інші стандарти серії: затверджені 19110 Feature cataloguing methodology (методика побудови каталогу об'єктів місцевості), 19117 Portrayal (принципи відображення геодезичних даних у вигляді карт), 19118 Encoding (кодування), 19120 Functional standards (технічний звіт про функціональні стандарти), 19127 Geodetic codes and parameters (геодезичні коди і параметри), 19135 Procedures for item

registration (процедури реєстрації та унікальної ідентифікації об'єктів) і розроблюваний 19131 Data product specifications.

Крім ТС 211 у ISO є й інші технічні комітети, розробки стосується яких тематичної інформації: ТС 204 Intelligent Transport Systems (маршрутизація, навігація, керування парком транспортних засобів); ТС 20 Aircraft and space vehicles (повітряні та космічні літальні апарати); ТС 23 Tractors and machinery for agriculture and forestry (лісове і сільське господарство); ТС 69 Applications of statistical methods (геостатистика), ТС 82 Mining (гірнича справа й геологія); ТС 154 Processes, data elements and documents in commerce, industry and administration (бізнес-процеси і документообіг); ТС 184 Industrial automation systems and integration (системи керування виробництвом).

Розробки ТС 211, крім прикладних напрямів, погоджуються із загальними стандартами комп'ютерних технологій (комітети ТС 1, ТС 46, ТС 130).

Відкритий геопросторовий консорціум (Open Geospatial Consortium, OGC), який раніше називався Консорціумом відкритих ГІС (OpenGIS Consortium), – недержавна некомерційна організація, створена провідними компаніями – розробниками програмного забезпечення й обладнання у сфері геоінформатики і дистанційного зондування. Багато конкуруючих компаній (ESRI, Intergraph, MapInfo та ін.) об'єднали свої зусилля в ньому з метою досягнення сумісності своїх розробок. Ця сумісність необхідна для вільного обміну геодезичною інформацією і створення стандартного середовища взаємодії ПЗ ГІС різних розробників. Відповідно, головним завданням OGC – розробка технічних вимог (специфікацій) до програмних систем, що забезпечують можливості їхньої взаємодії.

OGC відрізняється від ISO не тільки типом учасників. Специфікації OGC затверджуються методом консенсусу (в ISO – голосуванням), їхнє «виконання» – для всіх сугубо добровільне. Більш компактна структура і менш складна процедура розробки специфікацій порівняно зі стандартами ISO дає змогу OGC швидше реагувати на потреби ринку геоінформатики, вести гнучкішу політику розробки специфікацій. Завдяки цим факторам OGC значно просунувся у створенні ефективних і промислово визнаних вимог до ПЗ ГІС і знаходиться тут далеко попереду ISO.

Оскільки в Україні широко використовується ПЗ компаній–членів OGC, специфікації цього консорціуму є актуальними й для українських користувачів і розробників цифрових систем.

Більше того, ISO схиляється не до власної розробки стандартів реалізації, а до запозичення специфікацій OGC. Так що ці специфікації в будь-якому разі дійдуть і до нас – через ПЗ ГІС, і через міжнародні стандарти. Відповідність специфікацій OGC і стандартів ISO наведено в таблиці.

Крім специфікацій реалізації (Implementation Specifications, IS), в OGC створюються документи й іншого типу.

OGC Grid Coverages	ISO 19123 Schema for coverage geometry and functions
OGC Simple Feature Specification	ISO 19125 Simple feature access
OGC Web Map Service	ISO 19128 Web Map Server interface
Geography Markup Language	ISO 19136 GML
OGC Web Feature Service	ISO 19142 Web Feature Service
OGC Filter Encoding	ISO 19143 Filter Encoding

На відміну від стандартів ISO, що проходять формалізований життєвий цикл, який включає офіційне затвердження і публікацію, специфікації OGC використовуються «споживачами» до формального затвердження, як «живі» документи. Стандартів ISO переглядаються один раз на кілька років, а специфікації OGC можуть оновлюватись кілька разів на рік. Природно, що цей процес також упорядкований моделлю стандартизації, специфікації коригуються і доповнюють в розумних межах, а найвідоміші з них, досить стабільні, використовують у розробці міжнародних стандартів.

З усіх специфікацій OGC розглянемо найважливіші: WMS, WFS, WMC, CAT, GML, SF, SLD.

Web Map Service (WMS) – специфікація інтерфейсу картографічних веб-служб, що відновлює растрове зображення карти, сформоване на основі його запиту. Це найвідоміша і найширше використовувана специфікація OGC. Інтерфейс WMS дуже простий – у специфікації передбачені всього три види запитів – GetCapabilities, GetMap і GetFeatureInfo. З назв неважко здогадатися, що у відповідь на них служба повертає свої характеристики, сформовану карту або атрибути зазначеного об’єкта. Взаємодія з WMS здійснюється мовою XML, запити і відповіді передаються за протоколом HTTP.

Таким чином, WMS дає змогу легко вбудовувати інтерактивні карти у веб-сторінки будь-якого сайту. При цьому сама служба може знаходитися на сторонньому сервері і не мати прямого стосунку з автором цього сайту. Можливе використання сторонніх ресурсів (якщо не заборонено власником) – фундаментальна властивість Інтернету і всесвітньої павутини. А картографічні веб-служби дає змогу розширити види ресурсів, що доповнюються, ще й інтерактивними картами.

WMS для візуалізації карти, звичайно, використовує ті умовні знаки, які передбачив автор служби. Оскільки зображення карти формується на сервері, у користувача немає прямої можливості змінювати умовні знаки. Для розв’язання цієї проблеми розроблена специфікація Styled Layer Descriptor (SLD), що дає змогу користувачеві передати на сервер власні умовні знаки для відображення карти в WMS.

Web Feature Service (WFS) – інший вид картографічної веб-служби, який повертає, на відміну від WMS, набір векторних об’єктів. Формат представлення об’єктів – текст мовою географічної розмітки (Geography Markup Language, GML). Сам GML є окремою специфікацією OGC. Призначення

WFS – дати клієнтському додатку можливість створювати багатошарові карти, в яких шари одержують з різних джерел. Растрові зображення WMS не прозорі, тому не можна накласти зображення від однієї WMS-служби поверх іншої. А от вектори WFS цілком для цього придатні.

Очевидно, що ціна цього – ускладнення візуалізації, яка повинна відобразити такі векторні дані. Крім того, WFS не може повноцінно замінити безліч шарів WMS, оскільки навіть не дуже велика кількість векторних об'єктів у форматі GML займає обсяг, порівнянний з обсягом растрового зображення цієї ж самої карти. Тому ці два види служб необхідно використовувати в парі: WMS – для відображення базової карти, WFS – для оперативної графіки поверх неї (наприклад, маршрути або виділені об'єкти).

Самі по собі картографічні веб-служби після виконання кожного запиту не зберігають у себе ніяких параметрів цих запитів. Збереження цих параметрів вимагало б значних ресурсів сервера (пропорційно числу користувачів, що одночасно звертаються), що не прийнятно в умовах масового використання цих служб. Усі параметри зберігаються, і для їхнього стандартного збереження й обміну розроблена специфікація документа карти Web Map Context Documents (WMC). Ці документи зберігають посилання на веб-служби, склад і параметри відображення шарів у користувацькому додатку. Передача такого документа дає змогу адресатові побачити карту саме у тому вигляді, в якому її хотів показати автор документа.

Web Coverage Service (WCS) – служба, аналогічна WFS, але орієнтована на передачу «покриттів» – суцільних розподілів якої-небудь ознаки у просторі. Вона також дає можливість доповнити картографічні зображення WMS шарами нового типу, які можна з'єднувати з базовою картою.

Catalog Interface (CAT) – специфікація схеми каталогу геодезичних ресурсів і протоколів доступу до нього. Доступ до каталогу може здійснюватися з різних додатків для пошуку інформаційних ресурсів і перегляду їхніх характеристик. Ця специфікація є однією з найважливіших в інфраструктурі просторових даних, тому що ІГД це, насамперед, середовище для обміну геодезичною інформацією, а каталоги необхідні для її пошуку. Специфікація описує використання протоколів Z39.50, CORBA/IIOP, HTTP (відоме як Catalogue Services for the Web, CSW).

Кілька специфікацій із загальною назвою Simple Features задають правила мережевого доступу до баз просторових даних за допомогою SQL (SFS), CORBA (SFC), OLE/COM (SFO). Загальна архітектура описана в специфікації Simple feature access – Part 1: Common architecture (SFA). Цим специфікаціям відповідають кілька стандартів ISO, згаданих раніше. Найширшого визнання набула SFS – просторове розширення мови SQL, реалізоване в СУБД найбільших виробників під різними назвами, що включають слово «spatial». Це дало змогу ряду виробників ПЗ ГІС реалізувати серверне збереження геодезичних даних без необхідності розробки власних серверних продуктів.

Згадаємо також інші специфікації OGC, які можуть становити інтерес у разі розвитку ІГД:

1) Coordinate Transformation Services (CT) – служби перетворення координат;

2) Filter Encoding (Filter) – правила визначення критеріїв для вибирання просторових об'єктів;

3) група специфікацій OpenGIS Location Services (OpenLS) – служби підтримки послуг, пов'язаних із місцем розташування;

4) OWS Common Recommendation Paper (OWS common) – загальна модель веб-служб OGC;

5) Recommended XML Encoding of CRS Definitions (XML for CRS) – кодування систем координат на XML

Наведені документи показують напрями розвитку веб-служб (як їх собі уявляють учасники OGC). Це ще далеко не стандарти, а лише матеріали дискусій:

1) Web Processing Service (WPS) – веб-служби геодезичного опрацювання;

2) Web 3D Service (Web3D) – веб-служби тривимірної візуалізації;

3) Imagery Metadata (IMGM) – стандартне XML-кодування метаданих зображень;

4) Geospatial Portal Reference Architecture (Portal Architecture) – стандартна архітектура геоінформаційних порталів;

5) Geolinking Service (GLS) – географічне зв'язування, що дає можливість у реальному часі відображати на картах WMS дані з непросторових БД, що містить посилання на географічні об'єкти;

6) GML in JPEG 2000 for Geographic Imagery (GMLJPEG) – вбудовування інформації на GML у файли формату JPEG 2000.

Національні стандарти – державні стандарти України, прийняті центральним органом виконавчої влади у сфері стандартизації та доступні для широкого кола користувачів.

Проведення всебічної стандартизації у сфері геодезії, картографії та землеустрою обов'язково потребує наявності еталонної моделі для забезпечення комплексного і послідовного підходу.

Стандарт ДСТУ ISO 19101:2002(E) – «Географічна інформація – еталонна модель» (Комплекс стандартів «Географічна інформація/геоматика») є порадником структурування цифрових стандартів для забезпечення універсального використання цифрової географічної інформації.

Указаний стандарт входить до комплексу міжнародних стандартів ISO 19100 «Географічна інформація/геоматика», які визначають моделі топографічних даних, їх адміністрування та геоінформаційні сервіси. Цей стандарт установлює загальні вимоги і принципи розробки й використання стандартів у сфері тематичної інформації. Еталонна модель, як і інші стандарти комплексу, забезпечує інтеграцію цифрових систем з інформаційними технологіями.

Технічний комітет, відповідальний за цей стандарт, – ТК 103 «Географічна інформація/геоматика».

Еталонна модель встановлює загальні вимоги до стандартизації та фундаментальні принципи розробки й використання стандартів для географічної інформації. В описі цих вимог і принципів еталонна модель забезпечує таке бачення стандартизації, в рамках якої географічна інформація може бути інтегрована з існуючими та перспективними цифровими інформаційними технологіями і прикладними задачами. Стандарт призначений для спеціалістів із системного аналізу, програмістів і розробників картографічних стандартів для розуміння основних принципів та загальних вимог до стандартизації географічної інформації.

Використовуючи цифрову інформацію в межах традиційних прикладних програм, користувачі інформаційних технологій дедалі більше переконуються, що упорядкування за місцеположенням – фундаментальний шлях організації та використання цифрових даних. Все частіше цифровим даним, одержаним із різноманітних джерел, надають просторову прив’язку для використання у різних прикладних сферах. Отже, зростає потреба в стандартизації географічної інформації та сервісів її опрацювання.

Для задоволення вказаної потреби комплекс ISO 19100 стандартизує відповідні аспекти опису і керування географічною інформацією та геоінформаційними сервісами. Така стандартизація підвищить рівень розуміння й використання географічної інформації; розширить можливості доступу, інтеграцію і спільне використання географічної інформації; сприятиме продуктивному й ефективному та економічному використанню цифрової географічної інформації та пов’язаних із нею апаратних і програмних засобів; сприятиме єдиному підходу до розв’язання глобальних екологічних та гуманітарних проблем.

Для досягнення поставленої мети стандартизація географічної інформації у комплексі ISO 19100 ґрунтується на інтеграції понять зі сфери як географічної інформації, так і інформаційних технологій. При розробленні стандартів географічної інформації необхідно в усіх можливих випадках використовувати або адаптувати загальні стандарти з інформаційних технологій.

Заданий стандарт установлює загальний підхід до структурування стандартів комплексу ISO 19100. Еталонна модель використовує поняття, які застосовуються у підході до середовища відкритих систем (OSE) ISO/I EC для визначення вимог до стандартизації, наведених в ISO/IEC TR 14252, еталонній моделі відкритого розподіленого опрацювання (ODP) IEC, ISO/IEC 10746-1 та інших відповідних стандартах ISO і технічних звітах.

Комплекс стандартів географічної інформації ISO 19100 установлює структурований набір стандартів для інформації, що стосується об’єктів або явищ, які безпосередньо чи опосередковано пов’язані з місцеположенням відносно Землі. Цей стандарт визначає методи, засоби та сервіси керування географічною інформацією, включаючи визначення, збирання, аналіз, доступ,

подання та перекачування таких даних у цифровому/електронному вигляді між різними користувачами, системами і місцями розташування.

Комплекс стандартів СОУ 751-00013735 0002:2009 – «Правила розроблення нормативних документів у сфері топографо-геодезичної та картографічної діяльності» встановлює правила розроблення, експертизи, погодження, затвердження, реєстрації, видання, внесення змін і скасування (далі – розроблення) нормативних документів – стандартів, кодексів усталеної практики та технічних умов (далі – НД), прийнятих Міністерством охорони навколишнього природного середовища України (нині Міністерство екології та природних ресурсів України) і Державною службою геодезії, картографії та кадастру у сфері топографо-геодезичної й картографічної діяльності.

Вимоги вказаного стандарту є обов'язковими для виконання всіма суб'єктами сфери топографо-геодезичної та картографічної діяльності.

Топографічні дані мають міжгалузеве і багатоцільове призначення. Вони становлять основу для координатно-просторової прив'язки тематичних даних, які збираються за результатами інженерно-геодезичних, інженерно-геологічних та інженерно-гідрогеологічних вишукувань, земельно-кадастрових робіт, територіального планування, статистичних досліджень й інших спеціальних робіт і обстежень.

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційннх і цифрових технологій бази топографічних даних стають переважним видом кінцевої топографо-геодезичної продукції

Комплекс стандартів СОУ 742-33739540 0010:2010 «База топографічних даних» розроблено з метою уніфікації структури і складу цифрових моделей місцевості в базах топографічних даних, поліпшення якості та інформаційної сумісності топографічних даних, які постачаються різними виробниками.

Комплекс стандартів бази топографічних даних створює умови для уніфікації технологій і засобів формування і використання баз топографічних даних у картографічному виробництві та в цифрових системах різного призначення.

Ефективність використання комплексу стандарту визначається:

1) поліпшення якості цифрових топографічних даних створенням нормативно-технічного забезпечення, що відповідає сучасному стану геоінформатики і вимогам ринку цифрової продукції;

2) забезпеченням можливості обміну цифровими топографічними даними, цифровими та електронними топографічними картами між різними виробниками і користувачами шляхом уніфікації правил кодування та форматів експорту/імпорту даних;

3) гармонізацією нормативно-технічного та інформаційного забезпечення впровадження топографічних даних із міжнародними стандартами у сфері географічної інформації.

4) ведення достовірної (з погляду повноти опису) й актуальної бази даних про земну поверхню;

5) можливість повністю автоматизувати опрацювання інформації про земну поверхню при розв'язанні розрахунково-обчислювальних задач;

6) переведення процесів створення традиційних карт й цифрові технології;

7) ефективне використання всього обсягу раніше виготовленої цифрової картографічної продукції.

Комплекс стандартів СОУ 742-33739540 0010:2010 «База топографічних даних» поширюється на бази топографічних даних, що містять цифрові моделі місцевості. Стандарт призначений для застосування розташованими на території України установами, організаціями та підприємствами незалежно від форм власності й підпорядкування, які займаються створенням і використанням цифрових топографічних даних, цифрових моделей місцевості, організацією баз і банків топографічних і геодезичних даних.

Стандарт визначає загальні вимоги до бази топографічних даних і допомагає краще зрозуміти призначення, зміст та взаємозв'язки стандартів, що входять у комплекс стандартів бази топографічних даних.

Стандарт установлює загальні вимоги до структури й змісту цифрового подання даних про топографічні об'єкти у базах топографічних даних, загальні вимоги до метаданих, а також до принципів і методів оцінки якості топографічних даних.

Дотримання вимог, визначених указаним стандартом, не залежить від способів створення цифрових моделей місцевості та технологій наповнення й ведення бази топографічних даних.

Бази топографічних даних стали домінуючим видом кінцевої продукції сучасного топографо-геодезичного і картографічного виробництва та основою створення цифрових систем різного призначення.

Векторні моделі об`єктів місцевості становлять основу баз топографічних даних. Правила кодування та цифрового опису векторних даних визначають уніфіковану структуру і склад подання просторових характеристик об'єктів та їхніх атрибутів у базах топографічних даних, які відповідають сучасному стану стандартизації географічної інформації й вимогам ринку цифрової продукції.

Комплекс стандартів СОУ 742-33739540 0012:2010 «База топографічних даних. Правила кодування та цифрового опису векторних даних» встановлює правила кодування і цифрового опису векторних моделей об'єктів місцевості, що підлягають реєстрації в базі топографічних даних та відображенню у змісті цифрових моделей місцевості, в тому числі цифрових топографічних карт масштабів 1:10 000 – 1:1 000 000, що впроваджують за ліцензією центрального органу виконавчої влади з питань топографо-геодезичної та картографічної діяльності. Цей стандарт використовують при:

1) проектуванні й створенні баз топографічних даних:

2) розробленні технологій створення й оновлення цифрових моделей місцевості;

3) розробленні форматів обміну цифровими топографічними даними;

4) формуванні метаданих для наборів цифрових топографічних даних;

5) узгодженні між виробниками й користувачами вимог до змісту та якості даних у складі наборів цифрових топографічних даних;

6) оцінці й сертифікації створених або модифікованих наборів цифрових топографічних даних;

7) розробленні програмних засобів для наповнення і ведення баз топографічних даних та програмних засобів, що використовуються у базах топографічних даних чи наборах цифрових топографічних даних в інформаційних системах різного призначення.

Заданий стандарт не охоплює стандартизацію систем керування базами топографічних даних, а лише стандартизацію правил кодування й цифрового опису векторних даних у базі топографічних даних.

Застосування правил, визначеного цим стандартом не залежить від способів створення цифрової моделі місцевості та технології наповнення й ведення бази топографічних даних.

Комплекс стандартів СОУ 742-33739540 0013:2010 «База топографічних даних. Правила цифрового опису рельєфу» встановлює правила цифрового опису рельєфу в базі топографічних даних та містить вимоги до:

1) видів, структури та складу цифрових моделей рельєфу в базі топографічних даних;

2) якості цифрових моделей рельєфу; метаданих про цифрові моделі рельєфу.

Указаний стандарт використовують при:

3) проектуванні й створенні баз топографічних даних;

4) розробленні технологій створення та оновлення цифрових моделей рельєфу;

5) розробленні форматів обміну цифровими моделями рельєфу;

6) формуванні метаданих для цифрових моделей рельєфу; узгодженні між виробниками й користувачами вимог до змісту та якості даних цифрових моделей рельєфу;

7) оцінці й сертифікації створених або модифікованих наборів топографічних даних, що містять цифрові моделі рельєфу;

8) розробленні програмних засобів для наповнення і ведення баз топографічних даних та програмних засобів, що використовуються у базах топографічних даних чи наборах цифрових топографічних даних в інформаційних системах різного призначення.

Зазначений стандарт не охоплює стандартизацію систем керування базами топографічних даних, а лише стандартизацію правил кодування й цифрового опису цифрових моделей рельєфу в базі топографічних даних.

Дотримання вимог, визначених згаданим стандартом, не залежить від способів створення цифрової моделі рельєфу і технології наповнення й ведення бази топографічних даних.

Таким чином, перехід до стандартів ISO є необхідним для створення геоінформаційних систем міжнародного використання. Кожне поняття системи має конкретні цифрові індикатори, які забезпечують нормальне функціонування ГІС у комп'ютерному середовищі. Недотримання встановлених єдиних кодувань певним чином відобразиться на функціонуванні геоінформаційних систем.

Стандарти ISO широко впроваджені по усьому світу й дають однакові переваги країнам, які їх прийняли:

- можуть бути взяті за основу для технічного регламенту країни;
- відображають стан справ і сприяють поширенню новітніх технологій та інноваційних методів;
- розроблені з використанням процедур що забезпечують виключення можливості дублювання і протиставлення одних стандартів іншим;
- використовуються для оцінки відповідності та зростання довіри до послуг продукції, систем, процесів, персоналу;
- вносять вклад в сталий розвиток в усьому світі;
- можуть бути перетворені у національні стандарти.

Крім того, виникають різні перспективи на національному рівні й за допомогою різноманітних зв'язків і співпраці з державними та недержавним організаціями. Тому значення міжнародних стандартів полягає в тому, що їх визнаються, приймають та впроваджують у всьому світі.

Довідкові матеріали з математики та геодезії

Теоретична сума кутів

Замкнений полігон

$$\sum_{i=1}^{n}\beta_{\text{теор}} = 180°(n-2),$$

де n – кількість кутів

Розімкнений полігон

$$\sum_{i=1}^{n}\beta_{\text{тео}} p = \alpha_n - \alpha_k + 180°n,$$

де α_n і α_k – дирекційні кути точок й відповідно нової та кінцевої ліній ходу; n – кількість кутів.

Дирекційні кути ліній

$$\alpha_к = \alpha_{к-1} + 180° - \beta_{\text{їд}};$$

$$\alpha_к = \alpha_{к-1} - 180° + \beta_{\text{езд}},$$

де α_k і $\alpha_{k\text{-}1}$ – дирекційні кути наступної та попередньої ліній відповідно; $\beta_{\text{їд}}$ і $\beta_{\text{езд}}$ – праві та ліві кути по ходу між цими лініями.

Прирости координат

$$\Delta_X = d\cos\alpha$$

$$\Delta_y = d\sin\alpha$$

Координати точок

Пряма геодезична задача

$$X_B = X_A + d_{AB}\cos\alpha_{AB}$$

$$Y_B = Y_A + d_{AB}\sin\alpha_{AB}$$

Обернена геодезична задача

$$\operatorname{tg} r_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \qquad d_{AB} = \frac{X_B - X_A}{\cos r_{AB}}; \qquad d_{AB} = \frac{Y_B - Y_A}{\sin r_{AB}};$$

$$d_{AB} = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

Горизонтальне прокладення ліній

$$d = D\cos y\ ;\ \ d = \frac{D}{1 + 2\sin^2\frac{y}{2}}\ ;\ \ d = \sqrt{D^2 - h^2}\ ;\qquad d = D - \frac{1.5y^2 D}{10000}\ ;$$

де D – довжина лінії, виміряна на місцевості, м; d – горизонтальне прокладення лінії, взяте з плану або визначене за координатами, м; y – кут нахилу місцевості, град; h – перевищення між кінцями ліній, визначене за горизонталями планів, м.

Поправка за нахил лінії до горизонту

$$\Delta D = 2D\sin^2\frac{y}{2};\qquad \Delta d = \frac{1{,}5\ y^2 D}{10000}.$$

Перевищення між двома точками	Нахил місцевості	Крутість схилу
$H = d\ \mathrm{tg}\ y$	$i = \frac{H}{d}$	$y^\circ = arctg\frac{H}{d}$
		$y^\circ = \frac{i\,\%}{1{,}75}$

Декартові координати на площині

Загальне рівняння прямої *l:*

$$ax + by + c = 0;\quad (a^2 + b^2 \neq 0);\qquad K = -\frac{b}{a} = \mathrm{tg}\alpha$$

(кут між прямою l і віссю Ox)

Рівняння прямої з кутовим коефіцієнтом

$$(b \neq 0)\qquad y = kx = p$$

Рівняння прямої, що проходить через точку M (x°; y°) з кутовим коефіцієнтом k

$$y = y^\circ + k\ (x - x^\circ).$$

Кут між двома (неперпендикулярними) прямими

$$\mathrm{tg}\ \varphi = \left|\frac{k_1 - k_2}{1 + k_1\ k_2}\right|.$$

Координати середини відрізка

$$AC = CB\ ;\ C\ (\frac{x_A + x_B}{2}\ ;\frac{y_A + y_B}{2})\ .$$

Відстань від точки $M\ ((x_0\ ;\ y_0)$ до прямої $ax + by + c = 0$

$$\frac{\left|ax_0\ + by_0 + c\right|}{\sqrt{a^2 - b^2}} = p(M\ , l)\ .$$

Рівняння прямої, що проходить через дві задані точки

$$\frac{x\ - x_1}{y - y_1} = \frac{y_2 + y_1}{y_2 - y_1}\ .$$

Координати точки перетину двох прямих

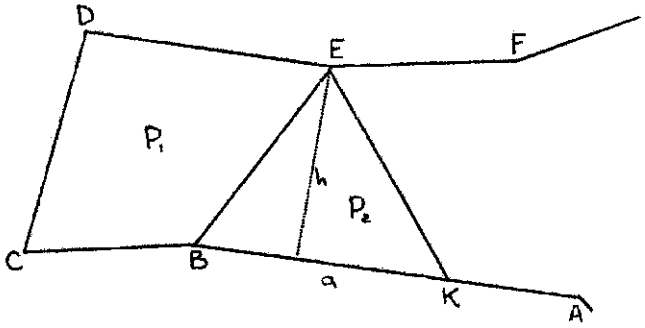
$$\left.\begin{matrix} y = a_1 x + b_1 \\ y = a_2 x + b_2 \end{matrix}\right\};\qquad x = -\frac{b_1 - b_2}{a_1 - a_2}\ ;\qquad y = \frac{a_1 b_2 - a_2 b_1}{a_1 - a_2}\ ;\qquad \operatorname{tg}\varphi = \pm\frac{a_1 - a_2}{1 + a_1 a_2}$$

(φ – кут між двома прямими, які перетинаються).

Проектування трикутником

Проектування площі P у землекористуванні $ABCDEF$

$$P_2\ = P - P_1$$



Площа трикутника:

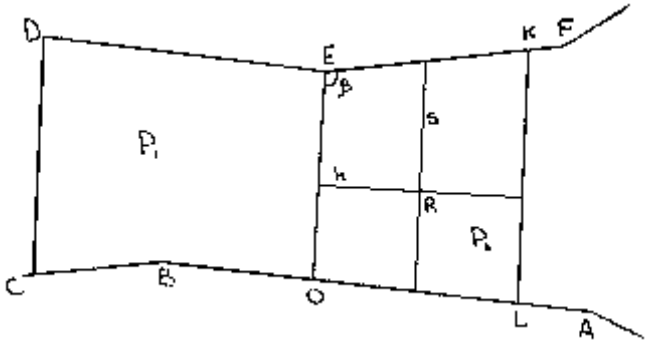
$$S_\Delta = \frac{1}{2}\ a\ h$$

Точність обчислення відстані при проектуванні трикутника визначаються за формулою:

$$(m_a\ /\ a)^2\ = (m_{p*2}\ /\ P_2)^2 + (mh\ /\ h)^2\ .$$

Проектування трапецією

У частині землекористування *ABCDEF* необхідно запроектувати площу *P* лінією *KL*, яка має бути паралельною лінії *DC*.



Проектування площі *P* за допомогою трапеції:

$$h_1 = P_1 / S_2; \qquad h_2 = P_2 / S_2; \qquad P_2 = P - P_1.$$

Оцінка точності

Похибка визначення висоти *h* знаходять за формулою:

$$(m_h / h)^2 = (m_{p*2} / P_2)^2 + (m_S / S)^2.$$

Причому, якщо площа *P* обчислюється безпохибково

$$(m_{p*2} = 0),$$

то

$$m_h / h = m_S / S.$$

Щоб уникнути нагромадження такої великої кількості похибок, проміри доцільно розраховувати за формулою:

$$EK = \frac{h}{\sin\beta}$$

(кут β одержуємо, як різницю дирекційних кутів *DC* та *EF*).

Проектування ділянок механічним способом

Допустиме розходження в сумі площ ділянок при проектуванні з сумою площ контурів визначають за формулою:

$$f_{p\text{га}} = 0{,}7\ p_{\text{га}} \sqrt{n_{\text{к}} + n_{\text{д}}} + 0{,}07 \frac{M}{10000} P_{\text{га}},$$

де p – ціна поділки планіметра, $n_к$ – кількість контурів, $n_д$ – число запроектованих ділянок, M – знаменник числового масштабу, P – сума площ запроектованих ділянок.

Проектування ділянок аналітичним способом

Визначення площ простих фігур

1. Трикутник, коли відомі дві сторони і кут між ними:

$$2P = S_1\, S_2 \sin(A).$$

2. Трикутник, коли відомі координати його вершин:

$$2P = (X_1 - X_2)\,(Y_1 - Y_3) - (X_1 - X_3)\,(Y_1 - Y_2).$$

3. Чотирикутник, коли відомі чотири сторони й два протилежних кути:

$$2P = S_1\, S_2 \sin(B) + S_3\, S_4 \sin(D).$$

4. Чотирикутник, коли відомі три сторони і два кути, що замкнуті між цими сторонами:

$$2P = S_1\, S_2 \sin(B) + S_2\, S_3 \sin(C) + S_1\, S_2 \sin((B) + (C) + 180).$$

5. Чотирикутник, коли відомі координати його вершин:

$$2P = (X_1 - X_3)\,(Y_2 - Y_4) - (X_2 - X_4)\,(Y_1 - Y_3).$$

6. Багатокутник, для якого відомі прирости координат і координати його вершин:

$$2P = \sum X_k (Y_{k+1} - Y_{k-1}) = \sum Y_k (X_{k-1} - X_{k+1}).$$

Точність технічного проектування при геодезичних роботах в землевпорядкуванні

1. Вимірювання кутів і ліній

$$m_{pf} = \frac{P}{2000};$$

2. Нанесення точок теодолітного ходу на план за координатами:

$$m_{pn} = 0{,}018\,\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}};$$

3. Графічний спосіб проектування:

$$m_{pg} = 0{,}01\,\frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}};$$

4. Сумарний вплив похибок визначається, як:

$$m_{p2} = \sqrt{m_{pn}{}^2 + m_{pf}{}^2 + m_{pg}{}^2}\,.$$

5. Проектування планіметром, опорою при якому є номер точки на плані:
Похибка механічного способу проектування:

$$m_{pn} = 0{,}49\ p + 0{,}007\ \frac{M}{10000}\sqrt{P_{\text{га}}} + 0{,}0003\,P_{\text{га}}\,.$$

6. Сумарний вплив похибок визначається, як:

$$m_{p4} = \sqrt{m_{pf}{}^2 + m_{pn}{}^2 + m_{pr}{}^2}\,.$$

7. Проектування планіметром, опорою при якому є контури ситуації:
Сумарний вплив похибок:

$$m_{p4} = \sqrt{m_{pn}{}^2 + m_{pr}{}^2}\,.$$

Різниця висот двох точок земної поверхні називається перевищенням (h), *визначають його за формулою*

$$h = H_B - H_A\,.$$

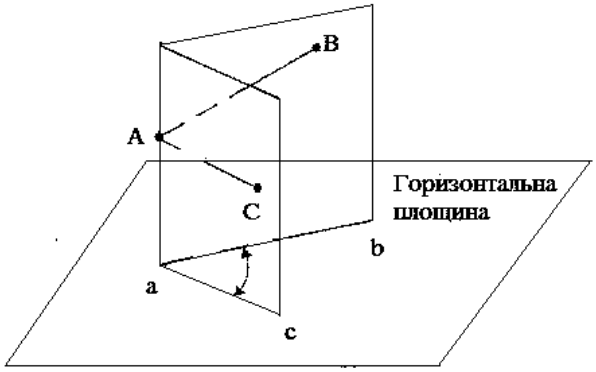
Перевищення (h) точки B

Знаючи перевищення і висоту точки A, можна визначити висоту наступної точки B:

$$H_B = H_A \pm h,$$

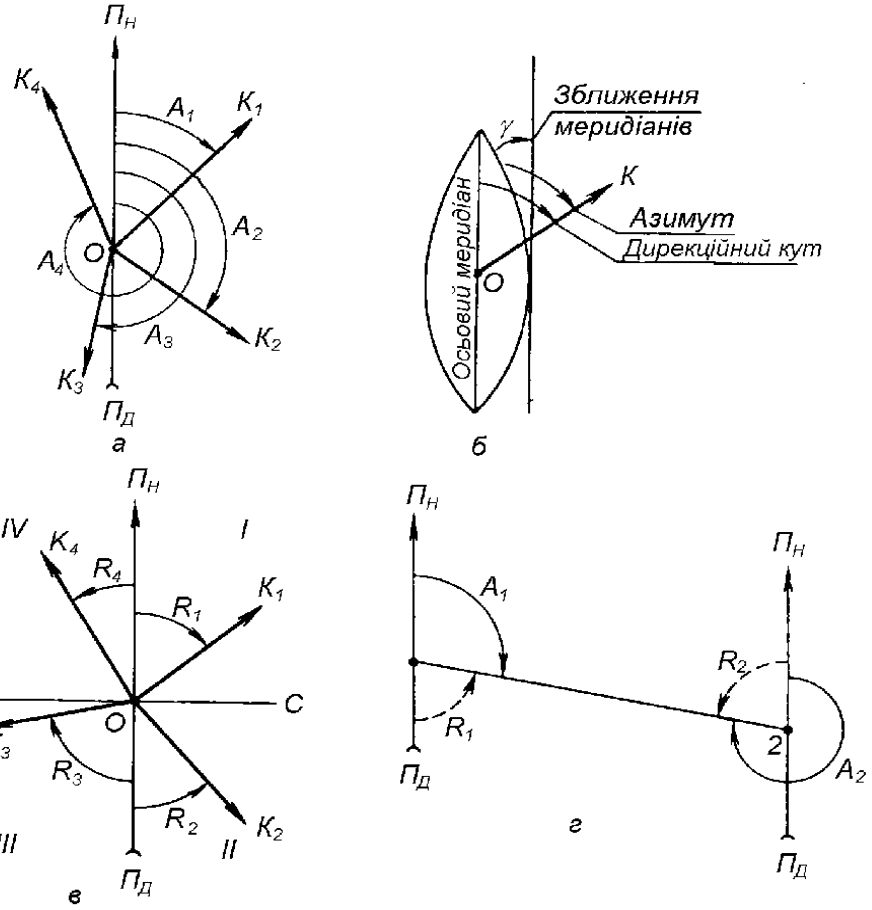
$$H_B = H_A \pm d \times \text{tg}\alpha.$$

Горизонтальним кутом називається плоский кут між проекціями ліній місцевості на горизонтальній площині:



Горизонтальний кут

Азимути, дирекційні кути, румби:



а – азимути; б – дирекційні кути; в – румби;
г – прямі й обернені азимути і румби

Азимути бувають прямими і зворотними:

$$A_{пр} = A_{зв} \pm 180°$$

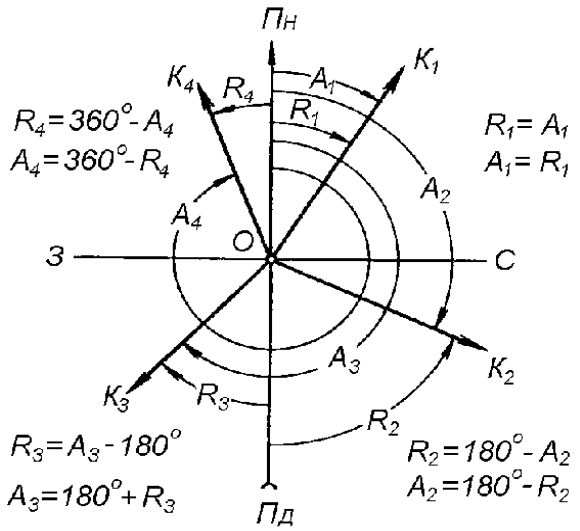
$$A_{зв} = A_{пр} \pm 180°.$$

Залежність між азимутами й внутрішніми кутами полігона найкраще визначається прикладом:

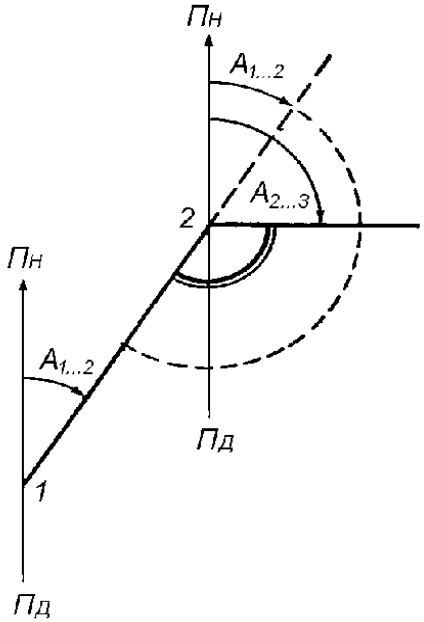
$$A_{n\text{-}1} = A_n + 180° - \angle\beta.$$

Залежність між азимутами і румбами

Між азимутами та румбами існує певна залежність, її можна зобразити за четвертями, як це показано на рисунку:



Залежність
між азимутами і румбами

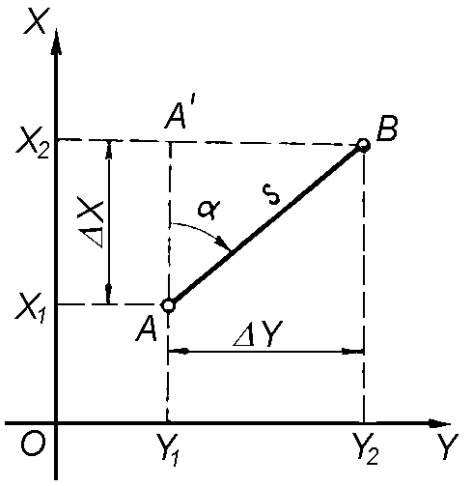


Залежність між азимутами
і внутрішніми кутами полігону

Пряма й обернена геодезичні задачі. Прирости координат

Пряма геодезична задача.

За координатами точки A (X_A і $У_A$), румбом (R) лінії AB та її горизонтальним положенням (d) треба знайти координати точки B:



Розв'язання прямої й оберненої геодезичних задач у прямокутній системі координат

Спочатку обчислюють довжину катетів із прямокутного трикутника *AA`B*, які називаються приростами координат:

$$\Delta x = d \times \cos R,$$

$$\Delta y = d \times \sin R.$$

Координати точки *B* знаходять за формулами:

$$x_B = \underline{x_A} + \Delta x_{AB},$$

$$y_B = y_A + \Delta y_{AB},$$

або для точки 2:

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1\text{-}2},$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{1\text{-}2}.$$

Тобто координата наступної точки дорівнює координаті попередньої точки плюс відповідний приріст координат (і його знаком).

Обернена геодезична задача.

За відомими координатами точок A (x_1, y_1) та B (x_2, y_2) треба знайти відстань d і дирекційний кут напрямку з точки A на точку B.

Для розв'язання задачі обчислюють Δx і Δy за формулами:

$$\Delta x = x_2 - x_1,$$

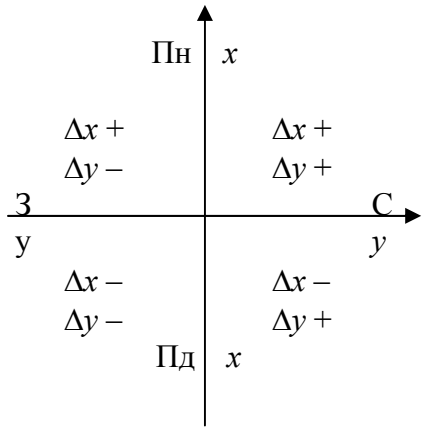
$$\Delta y = y_2 - y_1.$$

Потім обчислюють румб напрямку АВ за формулою:

$$\mathrm{tg} r = \Delta y / \Delta x.$$

Довжину лінії A і B визначають за формулою:

$$d = \frac{\Delta x}{\cos R} = \frac{\Delta y}{\sin R} = \sqrt{\left(\Delta x^2 + \Delta y^2\right)}$$



Знаки приростів координат

Дирекційні кути	Координатна чверть		Знаки приростів координат	
	номер	назва	Δx	Δy
до 90°	I	ПнС	+	+
90°–180°	II	ПдС	–	+
180°–270°	III	ПдЗ	–	–
270°–360°	IV	ПнЗ	+	–

Поняття про точність (похибки) геодезичних вимірювань

Похибкою вимірювання Δ називають різницю між результатом вимірювання «L» і точним значенням вимірюваної величини «a», тобто:

$$\Delta = L - a.$$

Термінологічний словник із геодезичних робіт

Абрис (нім. Abrib – креслення) – схематичний план об'єктів ділянки місцевості, які підлягають зніманню з даними вимірів (відстаней від точок знімальних ходів чи контурних точок) і необхідними поясненнями. Складають при деяких видах наземного топографічного знімання (теодолітному); використовують при розробці точних топографічних планів, а також при розпізнаванні на аерофотознімках точок геодезичної мережі.

Абсолютна похибка – модуль різниці між точним і наближеним значенням певної величини.

Азимут (араб. ас-сумут, множина від ас-самт – шлях, напрям) земного предмета чи небесного світила – кут між площиною меридіана точки спостереження й вертикальною площиною, яка проходить через цю точку і земний предмет (або світило).

Аналітичний спосіб – обчислення площ за результатами вимірювання ліній і кутів на місцевості із застосуванням формул геометрії, тригонометрії і аналітичної геометрії.

Базис (грец. badiz – основа, базис) – відстань між двома закріпленими на місцевості точками, виміряна з високою точністю; слугує для визначення довжин сторін тріангуляції.

Базисна сітка – сітка трикутників, яку прокладають на місцевості для вимірювань під час геодезичних робіт.

Врізка на карті – площа, обмежена лініями різної форми і розміщення всередині рамки основної карти, на якій наведено дані (карти, графіки, діаграми, таблиці, фото, текст, рисунки), що необхідні для пояснення або доповнення змісту основної карти.

Геодезична лінія – лінія найкоротшої відстані на певній поверхні. На поверхні кулі – дуга великого кола, на поверхні еліпсоїда – крива подвійної кривизни.

Геодезична мережа – система пунктів на земній поверхні, закріплених на місцевості спеціальними знаками й центрами, положення яких визначене в єдиній системі координат і висот над рівнем моря на основі геодезичних вимірювань.

Граничні лінії – поділ на карті території лініями різного рисунка або кольору за однією або сукупністю ознак.

Галузеві карти – карти окремих компонентів природних і соціально-економічних територіальних систем; розрізняють карти великих галузей (клімат, сільське господарство) та вузькогалузеві (сум активних температур, випаровуваності, рослинництва, тваринництва).

Геодезичний пункт – точка на земній поверхні, положення якої визначено в прийнятій системі координат і висот на основі геодезичних вимірювань методами тріангуляції, полігонометрії та ін. Пункти позначаються і

закріплюються на місцевості. Система взаємозв'язаних геодезичних пунктів утворює геодезичну мережу.

Графічна точність – точність вимірювання відстаней між двома точками на папері за допомогою циркуля-вимірювача та масштабної лінійки. Встановлено, що такі виміри не можуть бути виконані точніше як 0,1 мм, через що при графічних вимірюваннях і побудовах величина 0,1 мм вважається допустимою точністю масштабу.

Горизонтальне прокладення лінії – проекція похилої довжини лінії між двома точками на горизонтальну площину.

Геодезична задача обернена – задача, в якій за даними координатами двох точок необхідно знайти відстань між ними і взаємні напрями. Часто трапляється у геодезичних обчисленнях і в навігаційних розрахунках.

Геодезична задача пряма – задача, в якій за даними координатами однієї точки, азимутом чи дирекційним кутом із неї на другу точку і відстанню між ними необхідно знайти координати другої точки й напрям із неї на першу.

Графічний спосіб – це обчислення площ за результатами вимірювання ліній на плані (карті), коли ділянку, зображену на плані, розбивають на прості геометричні фігури, переважно на трикутники, рідше – на прямокутники та трапеції.

Графічна точність планів – середньоквадратична похибка вимірювання довжини лінії при визначенні її за планом за допомогою вимірювача і масштабної лінійки.

Головна геодезична основа знімання – це пункти державної геодезичної мережі у вигляді пунктів тріангуляції, полігонометрії та трилатерації 1, 2, 3 і 4–го класів і геодезичні мережі згущення 1 та 2–го розряді.

Геодезична мережа – сукупність геодезичних пунктів.

Геопросторові дані – набір даних про геопросторовий об'єкт.

Деформація (від лат. *deformatio* – «спотворення») – зміна розмірів і форми паперу під дією зовнішніх сил (навантажень) або якихось інших впливів (наприклад, температури, електричних чи магнітних полів.

Дирекційний кут (від франц. direction – напрям) – кут між північним напрямом прямої, паралельної до осі абсцис у системі плоских прямокутних координат на площині, й напрямом на місцевий предмет.

Експлікація – таблиця складу земель за угіддями.

Зарамкове оформлення карти – сукупність різних даних, розміщених поза зовнішньою рамкою карти.

Засічки графічні – способи визначення положення на планшеті точок місцевості за даними на ній точками, які приймаються за вихідні. Поділяються на прямі, обернені і комбіновані. Суть ***прямої засічки*** полягає у визначенні положення третьої точки за відомими двома шляхом прямого візування. Суть ***оберненої засічки*** полягає у визначенні положення точки стояння за трьома (двома вихідними). Для визначення положення шуканої точки в комбінованій

засічці візують на шукану точку, орієнтуючи планшет на себе (із вихідної точки, позначають її оберненим візуванням на іншу вихідну точку).

Знімальна геодезична мережа – мережа, яку створюють з метою згущення геодезичної планової та висотної основ до щільності, що забезпечує виконання знімання.

Землевпорядний проект – сукупність документів (розрахунків і креслень) зі створення нових форм устрою землі, їхнього економічного, технічного, екологічного та правового обґрунтування, які забезпечують організацію раціонального використання землі у сфері народного господарства, і насамперед – у сільському господарстві.

Інтерполяція (від лат. inter – між і polatio – пригладжую) – знаходження проміжних значень величин за кількома відомими кінцевими значеннями.

Калька контурів – документ на кальці, призначений для збереження одержаної у процесі топографічного знімання інформації про ситуацію.

Кадастровий план земельної ділянки – складова Поземельної книги, графічний документ, що відображає межі земельної ділянки з описом суміжних землевласників і землекористувачів, лінійні проміри між точками по межі земельної ділянки, місцерозташування земельної ділянки, розміщення об'єктів нерухомості, розташованих на земельній ділянці, й розробляється з використанням даних державного земельного кадастру.

Контур – замкнута лінія, яка являє собою геометричну фігуру чи предмет.

Калька (франц. calque – копія) – прозорий папір або тонка тканина для знімання копій із креслеників, малюнків чи рисунків, виготовлення світлокопій (синьок) і для креслення. Кальку для копіювання креслеників тушшю й одержання світлокопій піддають каландруванню та обробці плівкоутворювальними проолієними речовинами. У разі необхідності виготовлення кресленика олівцями і безпосереднього розмножування з нього копій застосовують некаландровану кальку. Іноді калькою називають саме креслення.

Кілометрова сітка – координатна сітка на топографічних картах, утворена лініями, паралельними осям координат. Вертикальні лінії проведені паралельно осьовому меридіану зони Гауса, а горизонтальні – паралельно екватору. Дає можливість визначати на картах прямокутні координати об'єктів або наносити об'єкти на карту за їхніми прямокутними координатами. Показується на всіх топографічних картах масштабу 1:500000 і більше.

Координати [від лат. co...(cum) – разом і ordinatus – упорядкований, визначений] – числа, якими визначають положення точки на прямій чи кривій лінії, на площині або поверхні, в просторі тощо.

Кут вертикальний – кут, який лежить у вертикальній площині.

Кут горизонтальний. – кут, що відповідає напрямку із точки A на точки B і C, називається плоским кутом $B_0A_0C_0$, який лежить у горизонтальній площині й виражає величину двогранного кута, утвореного вертикальними площинами, що проходять через прямовисну лінію AA_0 в точці A і через точки B та C.

Компоновка карти (від лат. compono – складаю) – визначення меж картографованої території та її розташування відносно рамки карти, а також розміщення всередині рамки і на полях карти її назви, записів масштабів, легенди, вихідних даних, карт-врізок, діаграм, графіків тощо. Вимоги до компоновки – раціональність, а разом із тим досконала організація простору карти. Проект компоновки карти оформляють у вигляді схематичного креслення – макету компоновки.

Контурні карти – навчальні карти, які відображають елементи географічної основи і координатну сітку; вид бланкових карт.

Масштаб площ – відношення площі безкінечно малої фігури на карті до площі відповідної фігури на поверхні земного еліпсоїда (кулі). На картах, побудованих у рівновеликих проекціях, дорівнює 1.

Мережа знімальна – сукупність точок, які визначаються додатково до пунктів державної геодезичної мережі для безпосереднього забезпечення топографічного знімання. Точки знімальної мережі визначаються аналітичним шляхом – тріангуляцією, теодолітними ходами, засічками і графічним способом – за допомогою мензули й кіпрегеля (геометрична мережа, мензульний хід, засічки). Вихідною основою для розвитку знімальної мережі є пункти державної геодезичної мережі. Середні похибки визначення знімальної мережі в плановому положенні відносно найближчих геодезичних пунктів не перевищує 0,1 мм на оригіналі карти; середні похибки за висотою встановлюються технічними інструкціями для кожного масштабу знімання та залежно від фізико-географічних особливостей району знімання.

Мінута (від лат. minutus – маленький, дрібний) – одиниця плоского кута, що дорівнює 1/60 градуса; позначається ′; метрична мінута – одна десятитисячна частка прямого кута; позначається ...^{c}.

Місцеві предмети – всі розташовані на земній поверхні об’єкти як природного (ліси, річки, болота і т. д., крім елементів рельєфу), так і штучного (населені пункти, окремі будівлі, дороги, канали, сади тощо) походження. Зображаються на топографічних картах відповідними умовними знаками.

Місцевість – частина (ділянка, район) земної поверхні з усіма її елементами. До основних елементів місцевості, які зображуються на топографічній карті, належать рельєф, гідрографія, рослинний ґрунтовий покрив, населені пункти, дорожня мережа.

Механічний спосіб – визначення площі за планом (картою) за допомогою спеціальних приладів – планіметрів, дигітайзерів.

Нарізка карт – система розграфлення карт, яка передбачає перекриття суміжних аркушів; широко використовується для карт атласів і морських навігаційних карт.

Нев’язка – числове значення невиконання математичного співвідношення (умови) між виміряними величинами, яке виникає внаслідок похибок результатів вимірювання цих величин.

Навантаження карти – міра заповнення змісту карти умовними позначеннями і надписами.

Наочність карт – можливість зорового сприйняття просторових форм, розмірів і розміщення об'єктів на карті у всій їхній цілісності та складності, з усіма закономірностями й випадковими деталями.

Обернена кутова засічка – це визначення координат точки, з якої здійснюються спостереження трьох пунктів із відомими координатами, в ході спостережень вимірюються кути між напрямками з точки стояння на пункти, що спостерігаються.

Оновлення топографічних карт – приведення змісту карт у відповідність із сучасним станом місцевості, основними вимогами сільгосппідприємств й діючими нормативними документами шляхом перескладання та видання нової карти; проводиться з використанням аерофотознімків (чи космічних знімків) і матеріалів картографічного значення (плани земле- і лісоустрою тощо). Розрізняють періодичне оновлення (від 3 до 15 років) і неперервне, для забезпечення якого організовані територіальні служби топографічного чергування за змінами місцевості.

Оформлення карт – процеси та образотворчі засоби графічного виконання карти.

Проектні карти показують запроектовану організацію території для цілей земле- і лісоустрою, гідротехнічного будівництва, меліорації тощо.

Проектування і складання карт – картографічна дисципліна, яка вивчає і розробляє методи і технологію лабораторного (камерального) виготовлення карт. Складається з двох розділів – проектування карт (розробка програми карти) та складання карт.

Проектування карти – розробка проекту карти, яка створюється, або модернізація існуючої карти; мета проектування – розробка документів і додатків до них, необхідних для організації й виконання робіт зі створення (модернізації) нових карт і атласів та забезпечення на їхній основі цілеспрямованого редагування, складання й підготовки їх до видання.

Проектування трикутником – спосіб, за якого проектна лінія повинна проходити через якусь визначену точку, при цьому за заданою площею і відомою висотою (чи основі) визначають основу (або висоту) трикутника.

Проектування трапецією – спосіб, за якого проектна лінія має проходити паралельно заданому напряму; в такому разі за заданою площею і середньою лінією цієї трапеції, визначеного за планом, обчислюють висоту трапеції, а потім її бокові сторони.

Похибка проектування ділянки – похибка визначення попередньо спроектованої планіметром площі та похибка проектування відрізка або прирізки графічним способом.

Планіметр (від лат. planum – площина і грец. – вимірюю) – картографічний механічний прилад для вимірювання площ плоских географічних об'єктів. Основними частинами найпоширенішого планіметра є обвідний важіль зі

штифтом, який обводить контур фігури, й лічильний механізм, що, фіксуючи переміщення штифта, вказує шукану величину площі. При вимірюванні площ полюсом 2–3 рази обводять контур площі (за ходом і проти ходу годинникової стрілки) і знімають відліки на лічильному механізмі до й після обведення. Відносна похибка визначення площі залежить від розміру контуру на плані чи карті; вона зменшується зі збільшенням площі (при площі розміром близько 15 $см^2$ і чотирикратному обведенні становить приблизно 0,5%).

Пряма кутова засічка – спосіб визначення невідомих координат певної точки, вимірюванням на пунктах із відомими координатами кутів між напрямком із даного пункту на точку, координати якої потрібно визначити, та напрямком на інший пункт із відомими координатами.

Палетка (від франц. palette – пластинка, планка) – нанесена на прозорому папері, склі чи целулоїдній пластинці сітка ліній, яка утворює квадрати певних розмірів, за допомогою яких визначають площі ділянок на карті чи плані. Слугує для вимірювання площ криволінійних контурів.

Перенесення запроектованих меж землеволодінь і землекористувань у натуру – це прокладання інструментальних ходів із геодезичною прив'язкою до існуючих межових знаків, якими закріплені земельні масиви.

Прирости координат – проекції відрізка на осі координат.

Похибка вимірювання – різниця між результатом вимірювання і точним значенням вимірюваної величини.

Похибки – малі зміни, які привносяться виконавцями в результати вимірів чи розрахунків; супроводжується відхиленням результатів від точних значень шуканих величин; знаходження похибок вимірювань суб'єктивне, вони можуть і не допускатися, що відрізняє їх від похибок вимірювань, неминучих у будь-яких вимірюваннях.

Площа – зображувальний засіб у вигляді площі умовного позначення на карті.

Показник спотворення довжин – окремий масштаб довжин у даній точці карти за даним напрямком, виражений у частках головного масштабу карти. Показником спотворення довжин також є найбільше $\boldsymbol{a}$ та найменше $\boldsymbol{b}$ відносні спотворення довжин, відносні спотворення довжин за меридіаном $\boldsymbol{m}$ і паралеллю $\boldsymbol{n}$, чи їхні відхилення від одиниці: $\boldsymbol{a}$**–1,** $\boldsymbol{b}$**–1,** $\boldsymbol{m}$**–1,** $\boldsymbol{n}$**–1** (іноді виражаються у відсотках).

Показник спотворення кута – найбільше спотворення кута (A) в даній точці; часто використовують показник для характеристики кута між зображенням на карті ліній меридіанів і паралелей (він на карті у загальному випадку не дорівнює куту між меридіаном та паралеллю) й позначається A, а його відхилення від значення кута між меридіаном і паралеллю на поверхні відносності характеризує його спотворення.

Показником спотворення площ є масштаб площ $\boldsymbol{p}$**,** виражений у частках головного масштабу площ карти (відносне спотворення площ); часто виражається як відхилення від одиниці – $\boldsymbol{p}$**–1** і виражається у відсотках.

Пунсон – умовний знак (кружок) для зображення населених пунктів; розміром та рисунком на картах передаються людність, тип і адміністративне значення населених пунктів.

Рекогносцирування – огляд та обстеження місцевості з метою вибору положення астрономічних і геодезичних опорних пунктів для обґрунтування топографічного знімання або попереднє обстеження місцевості для будь-яких спеціальних робіт.

Робочий проект землеустрою – сукупність нормативно-правових, економічних і технічних документів щодо використання та охорони земель, що містять розрахунки, опис, креслення технічних рішень, кошторис, реалізацію які передбачається реалізувати протягом 2–3 років.

Румб – кут між ближчим напрямом (північним чи південним) меридіана і напрямом на даний предмет (не перевищує 90°). Розрізняють румби географічні (відлік ведеться від географічних меридіанів), магнітні (відлік ведеться від магнітних меридіанів) та румби, які відраховують від вертикальних ліній сітки.

Рамка карти – лінія або система ліній, що облямовують картографічне зображення. Внутрішня рамка обмежує картографічне зображення; градусна (на топокартах – мінутна) слугує для визначення географічних координат точок чи нанесення на карту за їхніми географічними координатами; зовнішня облямовує саму карту і відокремлює її від елементів оснащення та елементів додаткової характеристики.

Спотворення довжин на карті виражається в тому, що масштаб довжин на ній змінюється при переході від однієї точки до іншої, а також зі зміною напряму в даній точці; внаслідок цього співвідношення лінійних елементів розмірів (довжини і ширини) географічних об’єктів передається зі спотвореннями.

Спосіб Савича використовується для визначення площ великих контурів (полігонів), коли межові знаки не мають обчислених координат чи межі проходять по кривих лініях живих урочищ.

Спотворення кутів на карті полягає у тому, що кути між напрямками на карті не дорівнюють відповідним кутам на поверхні еліпсоїда, а отже, не дорівнюють відповідним кутам на місцевості. Кути між лініями обрисів географічних об’єктів спотворені. Це призводить до порушення форм об’єктів.

Спотворення площ на карті виражається в тому, що масштаб площ в різних місцях карти неоднаковий; наслідок цього порушуються співвідношення площ різних географічних об’єктів.

Топографічна основа – карта, яку використовують для нанесення на неї змісту будь-якої тематичної карти.

Тріангуляція (від лат. triangulum – трикутник) – один із методів визначення відносного (взаємного) планового положення (координат) точок опорної геодезичної мережі побудовою на місцевості системи суміжно

розташованих трикутників, у яких вимірюють усі їхні кути, а в мережі – довжину хоча б однієї сторони (базової сторони чи базису).

Трилатерація (від лат. trilaterus – тристоронній) – один із методів визначення координат точок опорної геодезичної мережі, яка формується у вигляді суміжних трикутників на основі вимірювання довжин усіх сторін цих трикутників світлодалекомірами; має те ж саме призначення, що й тріангуляція.

Технічний проект – визначення основних методів, які використовують при створенні автоматизованої системи, та остаточне встановлення її кошторисної вартості.

Умовні знаки (топографічні й картографічні) – позначення, застосовані на картах для зображення різних об'єктів та їхніх якісних і кількісних характеристик; утворюють штучну мову – «мову карти». Умовні знаки передають зміст карти, позначають предмети, явища, процеси – реальні (населені пункти, шляхи сполучення) чи абстрактні (густота населення).

Цифрові карти місцевості – формалізована модель місцевості, представлена у вигляді закодованих у цифровій формі просторових координат точок місцевості та їхніх характеристик, які записані на магнітній стрічці чи іншому носії; може бути автоматично одержана при обробці аерофотознімків чи карт із використанням ЕОМ. Можлива галузь використання – створення топографічних і тематичних карт, земельний і лісовий кадастри, дорожні, гідротехнічні та пошукові роботи.

Список літератури

1. А.В. Антипова. Карты использования земель: принципы создания и применение в сфере эколого-географических исследований / А.В. Антипова // Картография на рубеже тысячелетий: докл. 1-й Всерос. науч. конф. по картографии [Москва, 7–10 окт. 1997] – М., 1997. – С. 251–258.
2. Архипов В.И. К вопросу об изготовлении районных карт, землепользования с использованием материалов аэрофотосъемки / В.И. Архипов, В.М. Филиппов, Н.А. Добрицкая // Задачи землеустройства в 10-й пятилетке в свете решений XXV съезда КПСС. – М., 1977. – С. 263-267.
3. Берлянт А.М. Геоинформационные технологи и их использование в эколого-географических исследованиях / А.М. Берлянт, О.Р. Мусин, Ю.В. Свентек // География. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 123 с.
4. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация / А.М. Берлянт. – М.: Мысль, 1986. – 240 с.
5. Вища геодезія: метод. вказівки та індивід. завдання до лабораторних та практичних занять для студ. спец. 7.070904 «Землевпорядкування та кадастр» Уклад.: В.С. Старовєров, М.В. Ковальов. – К.: 2005. – 70 с.
6. Геодезичний енциклопедичний словник / за ред. В. Літинського / Нац. ун. «Львівська політехніка». – Львів: Євросвіт, 2001. – 668 с.
7. Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип. 68. – Львів, 2007, – 290 с.
8. Геодезія [Текст]: методичні вказівки з вивчення дисципліни та завдання для контрольних робіт студентам-заочникам ІІ курсу за напрямом 6.080101 «геодезія, картографія та землеустрій» / НАУ; уклад.: І.М. Гора, Є.В. Кривов'яз. – К.: Вид-во НАУ, 2007. – 72 с.
9. Геодезія [Текст]: методичні вказівки з вивчення дисципліни та завдання для контрольних робіт студентам-заочникам ІІІ курсу за напрямом 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій» / НАУ; уклад.: І.М. Гора. – К.: Вид-во НАУ, 2008. – 66 с.
10. Геодезія та землевпорядкування [Текст]: методичні вказівки для вивчення дисципліни та контролю знань студентів І курсів, які навчаються за напрямом 6.090101 «Агрономія» ОКР «Бакалавр» / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України; уклад.: О.В. Кустовська, Л.П. Рафальська, Л.М. Олійник. – К.: Вид. центр НУБіП України, 2009. – 62 с.
11. Геодезія [Текст]: методичні вказівки для самостійної роботи з вивчення дисципліни та завдання для контрольних робіт студентам–заочникам ІІІ курсу за напрямом 6.080101 «Геодезія, картографія та землеустрій» / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України; уклад.: І.М. Гора. – К.: Вид. центр НУБіП України, 2009. – 66 с.
12. Геодезія [Текст]: практикум для студ. І курсу спеціальності 6.070904 «Землевпорядкування та кадастр». – Ч.1 / НАУ; уклад.: Б.І. Новак [та ін.] – К.: Вид-во НАУ, 2007. – 116 с.

13. Геодезія. Терміни та визначення. ДСТУ 2393-94. – К.: Держстандарт України, 1994. – 64 с.
14. Гора І.М. Геодезія: навчальний посібник / І.М. Гора, Г.О. Порицький, Л.П. Рафальська: – К.: Візаві, 2000. – 274 с.
15. Донцов А.В. Системное картографирование земельных ресурсов: сущность и признаки / А.В. Донцов // Геодезия и картография. – 1998. – № 5. – С. 47–48.
16. Жупанський Я.І. Соціально-економічна картографія / Я.І. Жупанський, П.О. Сухий // – Чернівці, 1996. – 274 с.
17. Золовский А.П. Комплексное картографирование земельных ресурсов Украинской ССР / А.П. Золовский, В.П. Разов // Науч. симп. Комиссии по использованию земель Междунар. геогр. союза: Тез. докл. XXIII Междунар. геогр. конгр., Симферополь, 21–26 июля, – К., 1976. – С. 80–82.
18. Золовский А.П. Применение принципов системного картографирования в разработке атласа земельных ресурсов УССР / А.П. Золовский, В.П. Разов, М.А. Королева // Системное картографирование природных и социально-экономических комплексов: тез. докл. VII Всесоюз. конф. по темат. картографированию. (Москва, 1978). – М., 1978.– С. 57–58.
19. Інженерна геодезія. – К.; 1998. – Вип. 39. – 160 с.
20. Інженерна геодезія. – К.; 1999. – Вип. 41. – 224 с.
21. Інженерна геодезія [Текст]: методичні рекомендації щодо вивчення дисципліни та виконання контрольної роботи студ. напряму навчання 6.090103 «Лісове і садово-паркове господарство»/ Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України; уклад. Б.І. Новак [та ін.]. – Вид. 2-ге, виправ. та допов. – К.: Вид. центр НУБіП, 2010. – 104 с.
22. Інженерна геодезія [Текст]. – К., 2008. – 332 с.
23. Картографія. Терміни та визначення // ДСТУ 2754-94. – К: Держстандарт України, 1994. – 95 с.
24. Концепция национального атласа России (проект). – М.: Роскартография, 1996. – 96 с.
25. Кордт В. Материалы по истории русской картографии / В. Кордт. – К., 1899. – 15 с. с ил., 1906. – 28 с. с ил., 1910. – 31 с. с ил.
26. Крештапова В.Н. Почвенно-агрогеохимические карты для целей рационального использования земельных ресурсов / В.Н. Крештапова: тез. докл. VII делег. съезда Всесоюз. о-ва почвоведов (Ташкент, 9–13 сент. 1985 г.). – Ташкент, 1985. – С. 121.
27. Кусов В.С. Качество карт межеваний и возможностей их использования для ретроспективного картографирования / В.С. Кусов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. «География». – 1993. – № 1. – С. 66–76.
28. Ле Ань Зунг. Серия стенных карт и атлас земельных ресурсов: сб. науч. работ асп. ХГУ. Естественные науки. – Х., 1992. – С. 81.
29. Левицкий И.Ю. Новые задачи и старые проблемы землеустроительного картографирования / И.Ю. Левицкий // Совершенствование

землеустройства в условиях перестройки хозяйственного механизма в АПК. – М., 1989. – Ч. IV. – С. 530–533.
30. Левицкий И.Ю. Земельнокадастровая информация и принципы ее картографирования / И.Ю. Левицкий, С.В. Рыбалко // Проблемы геоинформатики: тез. докл. респ. науч. конф. (Тарту-Кяэрику, 22–23 сент. 1983 г.) – Тарту, 1983. – С. 32–33.
31. Маслов А.В. Геодезические работы при землеустройстве / А.В. Маслов, Г.И. Горохов, Э.М. Ктиторов, А.Г. Юнусов. – М. «Недра», 1976. – 256 с.
32. Математична обробка геодезичних вимірів [Текст]: методичні рекомендації щодо вивчення дисципліни студ. факультету землевпорядкування (напрям підгоготовки 6.080101 – «Геодезія, картографія та землеустрій») / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України; уклад.: Т.О. Євсюков, М.В. Ковальов, Є.В. Кривов'яз. – К.: Вид. центр НУБіП України, 2009. – 44 с.
33. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фотограмметрія та дешифрування аерознімків» для студ. ден. форми навчання спеціальності 6.070904 «Землевпорядкування та кадастр» / уклад.: І.П. Купріянчик, Є.В. Бутенко. – К.: НАУ, 2006. – 54 с.
34. Методи дистанційного зондування Землі: методичний посібник для студ. напряму «Геодезія, картографія та землевпорядкування» вузів III–IV рівнів акредитації / уклад. С.С. Кохан, І.П. Поліщук. – К.: НАУ, 2006. – 136 с.
35. Новокшанова-Соколовская З.К. Картографические и геодезические работы в России в XIX – начале XX века / З.К. Новокшанова-Соколовская. – М.: Наука, 1967. – 266 с.
36. Новые карты для высшей школы: системное географическое картографирование СССР и мира / под ред. К.А. Салищева. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. – 202 с.
37. Основные положения концепции национального атласа России (проект). – М.: Роскартография, 1996. – 24 с.
38. Перцева А.А. Методы картографирования использования земель / А.А. Перцева // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. «География». – 1966 – № 3. – С. 63–69.
39. Покатило А.Г. Условные знаки межевых и хозяйственных планов, специальных карт, атласов и генеральных карт /А.Г. Покатило. – М., 1909. – 55 с.
40. Порицький Г.О. Геодезія: підручник для підготовки фахівців в аграрних вузах III–IV рівнів акредитації напряму «Геодезія, картографія та землевпорядкування»/ Г.О. Порицький, Б.І. Новак, Л.П. Рафальська. – К.: Арістей, 2007. – 260 с.
41. Порицький Г.О. Геодезія [Текст]: підручник для підготовки фахівців в аграрних вузах III–IV рівнів акредитації напряму «Геодезія, картографія та землевпорядкування» / Г.О. Порицький, Б.І. Новак, Л.П. Рафальська. – 2-ге вид., перероб. та допов. – К.: Арістей, 2008. – 284 с.

42. Правоторова Г.А. О некоторых вопросах разработки карты использования земельного фонда для мировых комплексных атласов / Г.А. Правоторова // Географическая картография, ее развитие и новые задачи: тез. докл. – М., 1980. – С. 77–79.
43. Разов В.П. Картографические исследования земельных ресурсов. – К.: Наук. думка, 1989. – 180 с.
44. Разов В.П. Карты земельных ресурсов / В.П. Разов // Картографическое обеспечение отдельных видов планирования. – К., 1979. – С. 61–76.
45. Ракитников А.Н. Методы изучения и картографирования использования земель / А.Н. Ракитников // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. «География». – М., 1964. – № 1. – С. 12–17.
46. Рыбалко С.В. Принципы создания и тематика карт земельных ресурсов комплексных атласов областей / С.В. Рыбалко // Вопр. землеустройства и земельный кадастр: Сб. науч. тр. ХГУ. – Харьков, 1996. – С. 96–101.
47. Рыбалко С.В. Роль системного картографирования земельных ресурсов в повышении эффективности их использования / С.В. Рыбалко // Тр. – Х., 1985. – № 317. – С. 165–169.
48. Романчук С.В. Геодезія [Текст]: навч. посіб. для студ. вузів / С.В. Романчук, В.П. Кирилюк, М.В. Шемякін. – К.: Центр навч. літ-ри, 2008. – 294 с.
49. Сводный каталог карт и атласов, изданных в 1966–1985 гг. (2 т.). – М., 1990.
50. Сільськогосподарське картографування: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт студентами IV курсу факультету землевпорядкування спеціальності 7.070904. «Землевпорядкування та кадастр» / уклад.: П.Ф. Жолкевський, Т.О. Євсюков, О.П. Жук. – К.: 2006. – 24 с.
51. Суворов А.К. Топологические методы разработки картографических изображений / А.К. Суворов. – М.: ИГ АН СССР, 1987. – 209 с.
52. Сухов В.И. Сельскохозяйственное картографирование. / Я.И. Юровский, М.И. Никишов, Г.Н. Лиодт, Е.Н. Сергунин / Изд. 3-е.– М.: Колос, 1970. – 304 с.
53. Сущеня В.А. Картографирование по космическим снимкам и охрана окружающей среды. / В.А. Сущеня, Е.А. Востокова, Л.А. Шевченко и др. – М.: Недра, 1982. – 252 с.
54. Фель С.Е. Картография России XVIII века / С.Е. Фель. – М.: Изд-во геодез. лит-ры, 1960. – 226 с.
55. Чан Бок О. Современное состояние и перспективы картографирования земельных ресурсов в КНДР / О. Бок. Чан // Вестн. Моск. ун-та. Серия 5. «География». – 1993. – № 1. – С. 105–108.
56. Чуркин В.Г. Атласная картография / В.Г. Чуркин. – Л.: Наука, 1974. – 140 с.
57. Шевченко В.О. Медико-географічне картографування території України / В.О. Шевченко. – К.: Наук. думка, 1994. – 158 с.

58. Шулейкин А.Д. Составление сельскохозяйственного атласа западных районов Украинской ССР / А.Д. Шулейкин // Вопросы землепользования и землеустройства в БССР и прибалтийских республиках. – Минск, 1967. – С. 37–39.
59. Юнусов А.Г. О взаимной зависимости показателей старения планово-картографических материалов // Тр. Моск. ин-та инж. землеустройства / А.Г. Юнусов. – М., 1974. – Вып. 70. – С. 103–112.
60. Юровский Я.И., О земельно-кадастровом картографировании в СССР / Я.И. Юровский // Тематическая картография. – М., 1973. – С. 32–35.
61. Юровский Я.И. Составление сельскохозяйственных карт и атласов территории колхозов, совхозов и административных районов / Я.И. Юровский. – М.: Колос, 1972. – 120 с.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Навчальний посібник

Євген Володимирович Бутенко
кандидат економічних наук, доцент кафедри управління
земельними ресурсами НУБіП України

Ірина Петрівна Купріянчик
кандидат економічних наук, доцент кафедри управління
земельними ресурсами НУБіП України

Геодезичні роботи у землеустрої

Редактор *Н.М. Некрут*

Комп'ютерний набір *М.С. Жукова*

Обкладинка та фото *Р.М. Чорного*

Підп. до друку 04.01.2012 р. Формат 60×84 $^{1}/_{16}$
Папір офсетний. Гарнітура «Таймс».
Фіз. друк. арк. 19. Ум. друк. арк. 17,67.
Обл.-вид. арк. 12,81. Зам. № 3003. Наклад 500.

МВЦ «Медінформ»
03179, м. Київ, вул. Котельникова, 95
Тел./факс (044) 501-35-69
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготівників
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1194 від 15.01.2003 р.