

ԳԵՈԴԵԶԻԱԿԱՆ ՑԱՆՑԻ ԽՏԱՅՈՒՄԸ ԿԱՌՈՒՑԱՊԱՏ ԿԱՄ ԱՆՏԱՌԱՊԱՏ ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆՆԵՐՈՒՄ ԼԱՆՋԵՐԻ ԴԻՆԱՄԻԿԱՆ ԴԻՏԵԼՈՒ ՀԱՄԱՐ

Պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր Գեորգ Տեր-Ստեփանյան*

Ռ Ե Ֆ Ե Ր Ա տ: Վատ տեսանելիության պատճառով կառուցապատ կամ անտառապատ սողանքային շրջաններում դժվարանում է տեղանիշների տեղաբաշխումը լանջերի զինամիկան զիտելու համար: Լանջերի վրա հաջողվում է դասավորել միայն ոչ մեծ քանակությամբ ներհատման տեղանիշեր, որոնք տեսանելի են բավականաչափ քանակի անշարժ հենակետերից: Նկարագրվում է զիտման կոմբինացված մեթոդը, որի ժամանակ լանջի վրա տեղաբաշխվում են սովորական ներհատման մեթոդով չափվող տեղանիշեր, նրանց միջև տեղադրվում են բաղմանկյունաչափական քայլերի Ցույց է տրված զրաֆիկական մեթոդ, որի օգնությամբ բաղմանկյունաչափական քայլերի տեղանիշերի բացարձակ տեղաշարժն է չափվում:

Կառուցապատ կամ անտառապատ սողանքային շրջաններում լանջերի զինամիկան ուսումնասիրելիս զիտացանցի տեղաբաշխումը կապված է մեծ զրգվաբույժությունների հետ: Կավագույն դեպքում սողանքային լանջի վրա հնարավոր է լինում տեղադրել միայն փոքր քանակությամբ շարժական տեղանիշեր, որոնք տեսանելի են 3—5 անշարժ կետերից: Երբեմն հնարավոր է լինում լանջի վրա գտնել կետեր, որոնք զիտվում են երկու անշարժ կետերից: Սակայն այդպիսի տեղերում շարժական տեղանիշերի տեղադրումը ցանկալի չէ, որովհետև կետի զիրքի որոշումը երկու չափումներով չի կարելի լրիվ ճշգրիտ համարել: Պետք է հաշվի առնել նաև, որ ընտրության ենթարկելով սողանքների տեղանիշերի զիրքը հենակետից լավ տեսանելիության պայմաններին, կարող են անտեսվել լանջի զինամիկան հասկացման համար կարևոր կետեր և դրանով իսկ զգալիորեն իջեցնել ստացված տվյալների նշանակությունը սահմանված համար:

Այդպիսի դեպքերում բաղմանկյունաչափական մեթոդի կիրառումը շատ ավելի շահավետ կարող է լինել զիտացանցի խտացման համար:

Այդ կոմբինացված մեթոդը հետևյալն է: Սկզբում լանջի վրա գտնվում են սողանքային հենանիշերը, որոնք որոշվում են ուղիղ և հակադարձ ներհատման մեթոդով: Այդպիսի ամեն մի հենանիշ պետք է որոշվի 4—6 չափումների օգնությամբ: Բնական է, որ այդ հենանիշերը լանջի բոլոր հատարքերում կետերը չեն կարող ընդգրկել:

* ՀԱՍՀ ԳԱ ներկայացնական գիտությունների ինստիտուտի գեոմեխանիկայի բաժնի վարիչ:

Այդ ներհատման հենանիշերի միջև անց են կացվում պարփակ և անջատ-
ված բաղմանկյունաչափական քայլեր: Նրանց կարող են միացվել կախված
կախալքեր: Այդ բոլոր քայլերը նշանակվում են այնպես, որպեսզի տարածությու-
նը բաղմանկյունաչափական հենանիշերի միջև պողպատյա շափերիզի երկա-
կառությունից կարճ լինի, այսինքն 50 մետրից պակաս:

Նկ. 1-ի* վրա ցույց է տրված գիտացանցի օրինակելի սխեման. նրա մի-
ջոցով հնարավոր է լինում հետևել ցանցի կազմակերպմանը և չափման ու հաշ-
վարկի ընթացքին: Ցանցը բաղկացած է չորս անշարժ № 1—4 հենանիշերից,
տեղադրված սողանքից դուրս և կապված պետական գեոգեդիական ցանցին.
չորս շարժական № 11—14 ներհատման հենանիշերից, որոնք տեղադրված են
սողանքի վրա և որոշվում են չափումներով՝ անշարժ № 1—4 հենանիշերի
կախվածամբ և 29 շարժական բաղմանկյունաչափական № 21—49 հենանիշե-
րից, որոնք տեղադրված են սողանքի վրա և որոշվում են չափումներով, շար-
ժական № 11—14 ներհատման հենանիշերի նկատմամբ: Այդպիսի սխեման
հնարավորություն է տալիս կամայականորեն խտացնել դիտացանցը, անկախ
լանջի վատ տեսանելիության պայմաններից:

Սողանքային ներհատման հենանիշերի դիտումները կատարվում են ուղիղ
և հակադարձ ներհատումների մեթոդով: Այդ չափումների հավասարեցումը
կատարվում է գրաֆիկորեն՝ դիտման ալրոմի թերթերի վրա: Այդ թերթերի վրա
ցույց են տրված գեոգեդիական կոորդինատային առանցքներ X և Y . կոորդի-
նատների սկիզբը համապատասխանում է սողանքային հենանիշի նախնական
դիրքին, դիտման առաջին ցիկլում: Ալրոմի թերթի վրա գծագրական կառուց-
ման միջոցով, յուրաքանչյուր հաջորդող ցիկլի դիտման համար որոշվում է
սողանքային կետի տեղաշարժված դիրքը, սովորաբար բնական մասշտաբով:

Այնուհետև ներհատման տեղանիշերի միջև անց են կացվում բաղմանկյու-
նաչափական պարփակ և անջատված քայլեր: Նկ. 1-ի վրա ցույց է տրված № 11
և 12 տեղանիշերի միջի քայլեր: Անկյունաչափիչի տեղակայումը կատարվում է
շարժական բոլոր տեղանիշերի վրա (ներհատման և բաղմանկյունաչափական):
Յուրաքանչյուր ներհատման տեղանիշի համար, օգտագործելով ուղիղ դիտում-
ները հասարակ հաշվման եղանակով որոշվում է դիրեկցիոն անկյունը մի ուղ-
ղագծի, որը միացնում է այն անշարժ հենակետի հետ: Այսպես, եթե № 1 տե-
ղանիշից դիտվել է № 11 տեղանիշը և 1—11 գծի դիրեկցիոն անկյունը հավա-
սար է α_{1-11} , ապա որոնվող հակադարձ ուղղությամբ դիրեկցիոն անկյունը
կկազմի $\alpha_{11-1} = \alpha_{1-11} \pm \pi$: Այդ անկյունները իրենցից ներկայացնում են բաղ-
մանկյունաչափական քայլերի կցման անկյունները:

Անկյունային և գծային չափումները ավելի ճշտելու համար ներհատման
և բաղմանկյունաչափական բոլոր հենանիշերի վրա դրվում են հանովի կոնաձև
ծայրակայներ, որոնք պտուտակվելով հագցվում են հենանիշերի ղլխիկներին:
Անկյունների չափումը կատարվում է օպտիկական անկյունաչափիչներով, իսկ
կողմերի չափումը՝ պողպատյա չափերիզով ուժաչափիչի լարմամբ. կողմերը
չափվում են երկու անգամ, ուղիղ և հակադարձ ուղղություններով: Գծի թեք-
վածքի վրա կիրարկվում է ուղղում. քանի որ այդ թեքվածքը ամեն մի բաղ-
մանկյունաչափական քայլի կողմի համար քիչ փոփոխվող մեծություն է,
թեքվածքի վրա ուղղում հաշվվում է միայն մեկ անգամ, ցանցի կազմակերպ-

* նկարները տե՛ս էջ 61—62:

ման ժամանակ և այդ ձևով մտցվում է հաշվումների մեջ հաջորդող բոլոր դիտումների ցիկլներում:

Բազմանկյունաչափական քայլերի հավասարեցումը կատարվում է անջատ եղանակով: Հաշվի է առնվում այն ճշտությունը, որով կատարվում են համապատասխան չափումները: Ներհատման հենանիշերից ղեպի անշարժները գծերի դիրքիցիոն անկյունները չափվում են մեծ ճշտությամբ. այդ պատճառով հավասարեցումը ըստ անկյունների պայմանների կատարվում է առանձին բազմանկյունաչափական քայլի յուրաքանչյուր հատվածի համար, որոնք գտնվում են հարևան ներհատումային հենանիշերի միջև: Այսպիսով № 11 և 12 հենանիշերի միջև եղրափակված քայլի հատվածի համար, այդ քայլի անկյունները պետք է հավասարեցված լինեն նախնական α_{11-1} և վերջնական α_{12-1} դիրքիցիոն անկյունների միջև: Յուրաքանչյուր քայլի հատվածի անկյունային ω_n անկապը հավասարաչափ բաշխվում է նրա անկյունների միջև:

Անցնելով կոորդինատների աճերի հավասարեցմանը հարկավոր է հաշվի առնել դիտացանցի կազմակերպման վրա ազդող հետևյալ հանգամանքները.

1. Կողմերի երկարության չափումը կատարվում է ավելի քիչ ճշտությամբ, քան անկյունների՝ այդ աշխատանքի մեծ աշխատատարության պատճառով, ճշտության բարձրացումը ընթացքների քանակի մեծացման ճանապարհով նպատակահարմար չէ:

2. Ներհատման հենանիշերի կոորդինատների հաշվման ճշտությունը աճենից առաջ որոշվում է անշարժ հենանիշերի կոորդինատների ճշտությամբ: Շատ ղեպերում անշարժ և ներհատման հենանիշերի կոորդինատները որոշվում են կոպիտ ձևով. այդ թույլատրելի է դիֆերենցիալ մեթոդի կիրառման ղեպում, քանի որ կոորդինատների բացարձակ արժեքները այդ մեթոդում նշանակություն չունեն (Келль и Белоликов, 1954*): Սակայն բազմանկյունաչափական մեթոդի համար այդ կարևոր է, քանի որ կոորդինատների աճերի հավասարեցումը պետք է կատարվի բազմանկյունաչափական քայլի ծայրային կետերի կոորդինատների տարբերության նկատմամբ: Այդ պատճառով լավագույն հավասարեցման համար հարկավոր է միշտ ձգտել ունենալու պարփակ, այսինքն օղակաձև բազմանկյունաչափական քայլեր. նրանց համար ծայրային կետերի կոորդինատների տարբերությունը հավասար է զրոյի: Այսպիսի քայլը ցույց է տրված նկ. 1-ի վրա № 11—13—14—11 ներհատման հենանիշերի միջև: № 13 և 14 ներհատման հենանիշերի կոորդինատները այդ քայլում կարող են որոշվել մեծ սխալներով: Եթե ներհատման հենանիշերի կոորդինատները որոշված են բավականաչափ ճիշտ, ապա նրանց միջև կարող են զգլիլ անջատված քայլեր (նկ. 1, քայլ № 11 և 12 հենանիշերի միջև): Վերջապես, վերջին խումբն են կազմում բաց կամ կախված քայլերը (նկ. 1, № 12—29 և № 13—30 հենանիշերի միջև քայլեր):

Պարփակ բազմանկյունաչափական քայլերի կոորդինատների աճի հավասարեցումը կատարվում է հետևյալ բանաձևերով.

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= 0 \\ \sum l_y + w_y &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

* Գրականություն տե՛ս էջ 60:

ժամանակ l_x և l_y բաղմանկյունաչափական քալքի կողմերի պրոյեկցիաներն են կոորդինատների առանցքներին, հաշվարկված հավասարումներով.

$$l_x = l \cos z \quad \text{և} \quad l_y = l \sin z,$$

ժամանակ l —քալքի կողմերի երկարությունն է,

z —ճշտված դիրեկցիոն անկյունն է, իսկ

w_x և w_y —դժախն անկապքներն են ըստ X և Y առանցքների

ձևերին համապատասխան:

Անջատված քալքերի հավասարեցումը ներհատման հենանիշերի միջև ստաբիլիտետի գիկլում կատարվում է հետևյալ բանաձևերով

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= x_b - x_a = L_x \\ \sum l_y + w_y &= y_b - y_a = L_y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

ժամանակ x_a , y_a և x_b , y_b բաղմանկյունաչափական քալքի դիտվող հատվածի սկզբնական և վերջնական ներհատման հենանիշերի կոորդինատներն են համապատասխան. L_x և L_y մեծությունները ցույց են տրված նկ. 1-ի վրա 1—12 հենանիշերի միջի քալքի համար:

Դիտման հաջորդ գիկլերում (2) բանաձևերը փոխարինվում են հետևյալներով

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= (x_b + \Delta x_b) - (x_a + \Delta x_a) = L_x + (\Delta x_b - \Delta x_a) \\ \sum l_y + w_y &= (y_b + \Delta y_b) - (y_a + \Delta y_a) = L_y + (\Delta y_b - \Delta y_a) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ժամանակ Δx_a , Δy_a և Δx_b , Δy_b բաղմանկյունաչափական քալքի դիտվող հատվածի սկզբնական և վերջնական ներհատման հենանիշերի տեղաշարժի բաղադրիչներն են համապատասխան, որը տեղի ունեցավ առաջին և տվյալ գիկլի դիտման միջև անցած ժամանակամիջոցում: Այդ կոմպոնենտները ստացվում են դրաֆիկորեն՝ դիտման ալբոմի թերթերից, պրոյեկտելով ներհատման կետերի հավասարեցված դիրքը կոորդինատային առանցքներին:

Գծային w_x և w_y անկապքները բաշխվում են l_x և l_y պրոյեկցիաների միջև համաչափ քալքի կողմի երկարությունը:

Բաց (կախված) բաղմանկյունաչափական քալքերի հավասարեցում տեղի չի ունենում և ամբողջ սխալանքը լրիվ մտնում է արդյունքի մեջ: Այդ պատճառով նրանց որոշման ճշտությունը բարձր չէ: Ստուգման և սխալի նվազեցման համար հանձնարարվում է կախված բաղմանկյունաչափական քալքերը կրկնակիորեն անցկացնել:

Անցնենք կետերի տեղաշարժման որոշմանը: Ներհատման հենանիշերից մեկը (օրինակ՝ № 11, նկ. 1) ընդունվում է որպես կոորդինատների սկիզբ և որոշվում են բաղմանկյունաչափական քալքերի մնացած բոլոր կետերի պայմանական կոորդինատները, օգտվելով հաշվարկի հայտնի եղանակից: Այդ պայմանական կոորդինատները դիտման առաջին գիկլի համար նշանակենք x'_1 և y'_1 : Այդպիսի որոշումներ կատարվում են և ամեն մի հաջորդող դիտման գիկլի համար: Զննենք երկրորդ գիկլի դիտման այդ տվյալների մշակումը: Բաղմանկյունաչափի քալքերի կետերի պայմանական կոորդինատները նշանակենք x'_2 և y'_2 : Այժմ կարելի է հաշվարկել կոորդինատների մեծությունները $\Delta x_1 = x'_1 - x'_1$ և $\Delta y_1 = y'_1 - y'_1$, այդ աճերը վերաբերվում են կոորդինատների տեղաշարժվող սկզբին, տվյալ դեպքում № 11 կետին:

Հետագա մշակման համար կազմվում է երկու գծագիր՝ մեկը մոմաթղթի, մյուսը՝ վատմանի վրա:

Մոմաթղթի թերթի վրա գծագրվում են X և Y առանցքի կոորդինատները (նկ. 2, a): Մոմաթուղթը հաշորդաբար դրվում է դիտման ալրոմի թերթերի վրա, կոորդինատների առանցքները համատեղվում են, և մոմաթղթի վրա տեղափոխվում են դիտման տվյալ ցիկլում ներհատման հենանիշերի հավասարեցված դիրքը: Այդ կետերը կարելի է դիտել որպես տեղաշարժման վեկտորների ծայրերի դիրքերը: Այդ բոլոր վեկտորների սկզբնակետերը համընկնում են կոորդինատների առանցքների հատման կետի հետ:

Տեղաշարժման լրիվ վեկտորները ցույց են տրված նկ. 2, a վրա կետագծով. իրականում այդ կետագծերը անց չեն կացվում: Յուրաքանչյուր կետի շուրջը նկ. 2, a-ում գծագրվում են սխալանքների էլիպսը:

Եթե լանջի վրա բոլոր կետերը տեղաշարժվում են նույն արագությամբ և միևնույն ուղղությամբ, ապա մոմաթղթի վրա բոլոր կետերը (նկ. 2, a) պետք է ձուլվեն մեկ կետում: Այդ գծագրում կետերի ցրումը անդրադարձնում է հենանիշերի տեղաշարժման անհավասարությունը:

Վատման թերթի վրա գծագրվում են Δx և Δy կոորդինատային առանցքները և նրա վրա ըստ բազմանկյունաչափական ցանցի կետերի հաշվարկված պայմանական կոորդինատների աճի ցույց են տրվում հենանիշերի տեղաշարժված դիրքերը (նկ. 2, b): Գծագիրը շժանրաբեռնելու համար նկ. 2, b-ում ցույց են տրված միայն այն կետերը, որոնք համապատասխանում են ներհատման հենանիշերին (№ 11—14) և բազմանկյունաչափական հենանիշերին առաջին հատվածում (№ 21—26):

Սկզբնակետը (№ 11) գտնվում է կոորդինատի սկզբում, քանի որ նրա համար աճերը հավասար են զրոյի: Ինչպես և նկ. 2, a-ի վրա, այն դեպքում, եթե բոլոր հենանիշերը տեղաշարժվեն նույն արագությամբ և միևնույն ուղղությամբ, ապա նկ. 2, b-ի բոլոր կետերը կձուլվեն մեկի, հենց այն կետին, որը համապատասխանում է սկզբնակետին (№ 11), քանի որ բոլոր կոորդինատների աճերի տարբերությունը կլինեն միատեսակ: Նկ. 2, b-ի վրա կետերի ցրումը նույնպես անդրադարձնում է հենանիշերի տեղաշարժման անհամաչափությունը:

Ներհատման կետերի (№ 11—14) փոխադարձ տեղաշարժումը, ինչպիսի եղանակով էլ որոշվի այն, միշտ մնում է նույնը: Նկ. 2, a-ի վրա այդ փոխադարձ տեղաշարժումը որոշված է ուղիղ և հակադարձ ներհատման մեթոդով՝ անշարժ հենանիշերի նկատմամբ, իսկ նկ. 2, b-ի վրա՝ բազմանկյունաչափական մեթոդով՝ № 11 շարժական սողանքային հենանիշի նկատմամբ: Չնայած դրան, սխալանքի մեծության սահմաններում այդ կետերի փոխադարձ դասավորվածությունը պետք է լինի բոլորովին միանման:

Մոմաթուղթը դնենք վատմանի վրա և հասնենք երկու սիստեմի կետերին (№ 11—14) համընկնման կամ հնարավոր լավագույն մոտեցմանը: Այն պետք է տեղի ունենա չափման ճշտության սահմաններում: Երկու նկարների վրա կոորդինատային առանցքները պետք է զուգահեռ լինեն իրար:

Մոմաթղթի գծագրի վրա հայտնի է տեղաշարժման վեկտորների սկզբնակետը (կոորդինատների սկիզբը) և կոորդինատային առանցքների ուղղությունը: Տեղափոխելով այն վատմանի վրա (թեկուզ պարզապես ասելով ծակելով), վատմանի վրա գծագրում ենք X և Y կոորդինատային առանցքները և գտնում

նր կոորդինատների սկզբը: Այդ դեպքում կետերը, որոնք համապատասխանում են բազմանկյունաշափական բալթի բոլոր սողանքային հենանիշերին (կ. 2, Ե-ի վրա իրենցից կենդակացնեն տեղաշարժման վեկտորների վերջնականները, իսկ նրանց սկզբնականը կգտնվի կոորդինատների սկզբին (համա- կ. 2, Զ):

Մոմաթուղթը վատմանի վրա դնելու արդյունքները ցույց է տրված կ. 2, Ե-ի վրա կետագծով. այդպես էլ լրիվ ցույց է տրված № 25 հենանիշի տեղաշարժման վեկտորը:

СГУЩЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ В ЗАСТРОЕННЫХ ИЛИ ЛЕСИСТЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ РАЙОНАХ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ДИНАМИКОЙ СКЛОНОВ

Профессор, доктор техн. наук Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН*

Р е ф е р а т. Вследствие плохой видимости в застроенных или лесистых оползневых районах затрудняется разбивка реперов для наблюдения за динамикой склонов. На склонах удается расположить лишь небольшое количество засечных реперов, которые были бы видимы с достаточного количества неподвижных опорных точек. В статье описывается комбинированный метод наблюдения, при котором на склоне разбиваются несколько реперов, измеряемых обычными методами засечек; между ними прокладываются полигонометрические ходы. Показан графический метод определения абсолютных смещений полигонометрических ходов реперов.

В застроенных или лесистых оползневых районах возникают большие сложности с разбивкой наблюдательной сети для изучения динамики склонов. В лучшем случае на оползневом склоне удастся расположить лишь небольшое количество подвижных реперов, обладающих видимостью с 3—5 неподвижных пунктов. Иногда удается находить на склоне точки, обладающие видимостью с двух неподвижных пунктов; однако ставить в таких местах подвижные реперы нежелательно, так как определение положения точки по двум измерениям не может считаться достаточно точным. Следует также учесть, что, подчиняя выбор местоположения оползневых реперов условию хорошей видимости с опорных точек, можно упустить важные для понимания динамики склона пункты и тем существенно снизить значение полученных данных для анализа оползания.

В этих случаях очень выгодным может оказаться применение полигонометрического метода для сгущения наблюдательной сети. Такой комбинированный метод заключается в следующем. Вначале на склоне располагаются оползневые реперы, определяемые методом прямых и обратных засечек; каждый такой репер должен определяться с помощью 4—6 измерений. Естественно, что эти реперы не могут охватить всех интересующих нас точек склона.

* Зав. отделом геомеханики Института геологических наук АН АрмССР,

Между этими засечными реперами прокладываются замкнутые и разомкнутые полигонометрические ходы. К ним могут быть подключены висячие ходы. Все эти ходы назначаются таким образом, чтобы расстояние между полигонометрическими реперами было менее длины стальной рулетки, т. е. менее 50 м.

На рис. 1* показана примерная схема наблюдательной сети; она позволяет проследить за организацией сети и ходом измерений и вычислений. Сеть состоит из четырех неподвижных опорных реперов (№ 1—4), устанавливаемых вне оползня и привязываемых к государственной геодезической сети; четырех подвижных засечных реперов (№ 11—14), устанавливаемых на оползне и определяемых измерениями по отношению к неподвижным реперам № 1—4 и 29 подвижных полигонометрических реперов (№ 21—49), устанавливаемых на оползне и определяемых измерениями по отношению к подвижным засечным реперам № 11—14. Такая схема позволяет произвольно сгущать наблюдательную сеть, несмотря на условия плохой видимости на склоне.

Наблюдения оползневых засечных реперов производятся методом прямых и обратных засечек. Уравнивание этих измерений производится графически на листах альбома наблюдений. На этих листах показаны геодезические координатные оси X и Y ; начало координат соответствует исходному положению оползневого репера в первом цикле наблюдений. На листе альбома путем графических построений для каждого последующего цикла наблюдения определяется смещенное положение оползневой точки, обычно в натуральном масштабе.

Затем прокладываются замкнутые и разомкнутые полигонометрические ходы между засечными реперами; на рис. 1 показан ход между реперами № 11 и 12. Установка теодолита производится на всех подвижных реперах (засечных и полигонометрических). Для каждого из засечных реперов путем простого подсчета определяется дирекционный угол одной из прямых, соединяющих ее с неподвижной опорной точкой. Для этого используются прямые наблюдения. Так, если с репера № 1 наблюдался репер № 11 и дирекционный угол линии 1—11 составляет α_{1-11} , то искомый дирекционный угол обратного направления составит $\alpha_{11-1} = \alpha_{1-11} \pm \pi$. Эти углы представляют собой примычные углы полигонометрических ходов.

Для повышения точности угловых и линейных измерений все засечные и полигонометрические реперы снабжаются съемными коническими наконечниками, которые навинчиваются на головки реперов. Измерение углов производится оптическими теодолитами, а измерение сторон — стальной рулеткой с натяжением динамометром; стороны измеряются дважды, в прямом и обратном направлениях. Вводится поправка на наклон линии; так как этот наклон для каждой стороны полигонометрического хода является малоизменяющейся величиной, поправка на наклон вычисляется всего один раз, при организации сети, и в таком виде вводится в расчеты во всех последующих циклах наблюдения.

* Рисунки см. на стр. 61—62.

Уравнивание полигонометрических ходов производится раздельным способом. При этом принимается во внимание та точность, с которой производятся соответствующие измерения. Дирекционные углы линии с засечных реперов на неподвижные измеряются с большой точностью; поэтому уравнивание по условию углов производится раздельно для каждого отрезка полигонометрического хода, заключенного между соседними засечными реперами. Так, для отрезка хода, заключенного между реперами № 11 и 12, углы этого хода должны быть исправлены между начальным α_{11-1} и конечным α_{12-1} дирекционными углами. Угловая навязка w_α каждого отрезка хода равномерно распределяется между его углами.

Переходя к уравниванию приращений координат, необходимо учесть следующие обстоятельства, влияющие на организацию наблюдательной сети:

1. Измерение длины сторон производится менее точно, чем измерение углов; ввиду большой трудоемкости этой работы, повышение точности путем увеличения приемов нецелесообразно.
2. Точность вычисления координат засечных реперов прежде всего определяется точностью координат неподвижных реперов. Во многих случаях координаты неподвижных и засечных реперов определяются грубо; это допустимо при применении дифференциального метода, так как абсолютные значения координат в этом методе не имеют значения (Келль и Белоликов, 1954*). Однако для полигонометрического метода это представляет важность, так как уравнивание приращений координат должно производиться по отношению к разности координат конечных точек полигонометрических ходов. Поэтому для лучшего уравнивания следует всегда стремиться иметь замкнутые, т. е. кольцеобразные полигонометрические ходы; для них разность координат конечных точек равна нулю. Такой ход показан на рис. 1 между засечными реперами № 11—13—14—11. Координаты засечных реперов № 13 и 14 в этом ходе могут быть определены с большой погрешностью. Если координаты засечных реперов определены достаточно точно, то между ними могут быть проложены разомкнутые ходы (рис. 1, ход между реперами № 11 и 12). Наконец, последнюю группу составляют открытые или висячие ходы (рис. 1, ходы между реперами № 12—29 и 13—30).

Уравнивание приращений координат для замкнутых полигонометрических ходов производится по формулам

$$\begin{cases} \sum l_x + w_x = 0 \\ \sum l_y + w_y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где l_x и l_y — проекции сторон полигонометрического хода на координатные оси, вычисляемые по уравнениям

$$l_x = l \cos \alpha \quad \text{и} \quad l_y = l \sin \alpha,$$

* Литературу см. на стр. 60.

где l —длина стороны хода,

α —исправленный дирекционный угол, а

w_x и w_y —линейные навязки в приращениях по осям X и Y соответственно.

Уравнивание разомкнутых ходов между засечными реперами в первом цикле производится по формулам

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= x_b - x_a = L_x \\ \sum l_y + w_y &= y_b - y_a = L_y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где x_a, y_a и x_b, y_b —координаты начального и конечного засечных реперов рассматриваемого отрезка полигонометрического хода соответственно; величины L_x и L_y показаны на рис. 1 для хода 11—12.

В следующих циклах наблюдения формулы (2) заменяются следующими:

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= (x_b + \Delta x_b) - (x_a + \Delta x_a) = L_x + (\Delta x_b - \Delta x_a) \\ \sum l_y + w_y &= (y_b + \Delta y_b) - (y_a + \Delta y_a) = L_y + (\Delta y_b - \Delta y_a) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\Delta x_a, \Delta y_a$ и $\Delta x_b, \Delta y_b$ —компоненты смещения начального и конечного засечных реперов рассматриваемого отрезка полигонометрического хода соответственно, которое произошло за время между первым и данным циклом наблюдений. Эти компоненты получают графически с листов альбома наблюдения проектированием уравненного положения засечных точек на координатные оси.

Линейные навязки w_x и w_y распределяются между проекциями l_x и l_y пропорционально длине сторон хода.

В открытых (висячих) полигонометрических ходах уравнивание не производится и вся погрешность входит полностью в результат. Поэтому точность их определения невысока. Для контроля и уменьшения ошибок рекомендуется висячие полигонометрические ходы прокладывать дважды.

Перейдем к определению смещения точек. Один из засечных реперов (напр., № 11, рис. 1) принимается за начало координат, и определяются условные координаты всех остальных точек полигонометрических ходов; при этом используется известный способ расчета. Обозначим эти условные координаты для первого цикла наблюдения через x'_i и y'_i . Такие же определения производятся и для каждого последующего цикла наблюдений. Рассмотрим обработку этих данных для второго цикла наблюдений. Обозначим условные координаты точек полигонометрических ходов через x''_i и y''_i . Теперь можно вычислить величины приращений координат $\Delta x_i = x''_i - x'_i$ и $\Delta y_i = y''_i - y'_i$; приращения эти отнесены к смещающемуся началу координат, в данном случае к точке № 11.

Для дальнейшей обработки составляются два чертежа, из них один на кальке, второй—на ватмане.

На лист кальки наносятся координатные оси X и Y (рис. 2,а). Калька последовательно накладывается на листы альбома наблюдений,

ни координат совмещаются, и на кальку переносятся уравненные положения засечных реперов в данном цикле наблюдений; эти точки можно рассматривать как положения концов векторов смещения. Начало всех этих векторов совпадает с точкой пересечения координатных осей. Полные векторы смещений показаны на рис. 2,а пунктиром; в действительности, эти пунктирные линии не проводятся. Вокруг каждой из точек на рис. 2,а вычерчивается эллипс погрешности.

Если все точки на склоне смещаются с одинаковой скоростью и в одном и том же направлении, то все точки на кальке (рис. 2,а) должны собраться в одну. Рассеяние точек на этом чертеже отражает неравномерность смещения реперов.

На лист ватмана наносятся координатные оси Δx и Δy , и на нем по вычисленным приращениям условных координат точек полигонометрической сети показываются смещенные положения реперов (рис. 2,б). Во избежание загромождения чертежа, на рис. 2, б показаны только точки, соответствующие засечным реперам (№ 11—14) и полигонометрическим реперам на первом отрезке (№ 21—26).

Начальная точка (№ 11) оказывается в начале координат, так как для нее приращения равны нулю. Как и на рис. 2,а, в случае если бы все реперы смещались с одинаковой скоростью и в одном и том же направлении, все точки на рис. 2,б слились бы в одну, а именно в точку, отвечающую начальной точке (№ 11), поскольку разности приращений всех координат были бы одинаковые. Рассеяние точек на рис. 2,б также отражает неравномерную скорость смещения реперов.

Каким бы способом ни определялось взаимное смещение засечных точек (№ 11—14), оно всегда остается одним и тем же. На рис. 2,а это взаимное смещение определено методом прямых и обратных засечек по отношению к неподвижным опорным реперам, а на рис. 2,б—полигонометрическим методом по отношению к подвижному оползневому реперу № 11. Несмотря на это, в пределах погрешности измерений взаимное расположение этих точек должно быть совершенно одинаковым.

Наложим кальку на ватман и добьемся совпадения или возможно лучшего приближения обеих систем точек, соответствующих засечным реперам (№ 11—14). Оно должно иметь место в пределах точности измерения. Координатные оси на обоих чертежах должны быть параллельны друг другу.

На чертеже на кальке известно положение начала векторов смещения (начало координат) и направление координатных осей. Перенеся его на ватман (хотя бы простым прокалыванием иглой), вычерчиваем на ватмане координатные оси X и Y и находим начало координат. Тогда точки, отвечающие всем оползневым реперам полигонометрического хода на рис. 2,б, будут представлять собой концы векторов смещения, а начала их будут находиться в начале координат (ср. рис. 2,а).

Результаты этого наложения кальки на ватман показаны на рис. 2,б пунктиром; там же показан полностью вектор смещения репера № 25.

THE THICKENING OF GEODETIC NETWORK IN BUILT-UP OR WOODED LANDSLIDE AREAS FOR OBSERVATION OF SLOPE DYNAMICS

Professor, Dr. Techn. Sc. GEORGE TER-STEPANIAN*

Abstract. The layout of benchmarks for the observation of slope dynamics in built-up or wooded landslide areas is hindered because of bad visibility. On the slopes only a few intersectional benchmarks may be placed which are observable from a sufficient number of unmovable reference points. A combined method of observations is described by which several benchmarks are installed on the slope; their measurement is made by conventional intersections; polygonometric traverses are plotted between these benchmarks. Graphical method of determination of the absolute displacements of benchmarks of the polygonometric traverses is shown.

Many difficulties arise in the built-up or wooded landslide areas by the layout of observation network for the study of slope dynamics. At best on the landslide slope only a small number of movable benchmarks may be located which have visibility from 3 to 5 unmovable reference points. It is possible sometimes to find places on the slope which are visible from only two unmovable points; but it is undesirable to put movable benchmarks in such places since the determination of the position of landslide points based on two measurements cannot be considered as sufficiently exact. One must take also into account, that having subordinated the choice of location of the landslide benchmarks to the condition of fair visibility we may pass over places which are important for the understanding of slope dynamics, and thereby we can lower essentially the significance of data obtained for the analysis of sliding.

The use of the polygonometric method for the thickening of observation network may be advantageous in such cases. Such a combined method consists in the following. At first, landslide benchmarks, determined by the method of intersections or resections (inverse intersections), are placed on the slope; each of such benchmarks must be determined by means of 4 to 6 measurements. Naturally these benchmarks cannot spread all over the points of the slope which are of interest.

Closed and unclosed polygonometric traverses are plotted between these intersectional benchmarks; open traverses may be joined to them. All these traverses are plotted in such a way that the distances between polygonometric benchmarks should be less than the length of the steel tape measures, i. e. less than 50 metres.

An exemplary scheme of the observation network shown on Fig. 1** will make possible to trace its organization and the course of measurements and calculations. The network consists of four unmovable reference points Nos. 1 to 4, installed outside of the landslide and connected with the state geodetic network; four movable intersectional bench-

* Head, Dept. of Geomechanics, Geological Institute, Armenian Academy of Sciences.

** Figures see pp. 61--62.

benchmarks Nos. 11 to 14, installed on the landslide and determined by means of measurements in respect to the unmovable reference points Nos. 1 to 10; and 29 movable polygonometric benchmarks Nos. 21 to 49, installed on the landslide and determined by means of measurements in respect to the movable intersectional benchmarks Nos. 11 to 14. Such a scheme permits to thicken the observation network at one's own choosing despite the condition of bad visibility on the slope.

Observation of the landslide intersectional benchmarks is carried out using intersections and resections. Equalization of these measurements is made graphically on sheets of the observation album. Geodetic coordinate axes X and Y are shown on these sheets; the origin of coordinates corresponds to the starting position of the landslide benchmark in the first cycle of observation. The displaced position of the landslide benchmark is determined for each subsequent cycle of observations on these sheets of the album by means of graphical calculations, usually in full scale.

Then closed and unclosed polygonometric traverses are plotted between the intersectional benchmarks; the traverse between benchmarks Nos. 11 and 12 is shown on Fig. 1. The theodolite is installed on all unmovable benchmarks (both intersectional and polygonometric).

For each intersectional benchmark bearing angle of one of the lines connecting this benchmark with one of the reference points is determined by means of simple computations using direct sighting. Thus if the straight line 1-11 was observed from the reference point No. 1 and its bearing angle is α_{1-11} , the sought bearing angle of inverse direction will be $\alpha_{11-1} = \alpha_{1-11} + \pi$. These angles are the angles of connection of the polygonometric traverses.

In order to increase the exactness of the angular and linear measurements all the intersectional and polygonometric benchmarks are supplied by removable conical tips which are screwed on the heads of benchmarks. The angles are measured by optical theodolites while the distances by steel tape measures, stretched by means of a dynamometer; the distances are measured twice, in direct and inverse directions. The correction on the inclination of the line is introduced; since this inclination for each side of a polygonometric traverse is a poorly changeable quantity, this correction is determined only once at the organization of the network and introduced in this form in computations in all subsequent cycles of observations.

The equalization of polygonometric traverses is made by a separate method. The exactness with which the corresponding measurements were carried out is taken into account. The bearing angle of lines from the intersectional benchmarks to the unmovable reference points are measured with great exactness; therefore the equalization by angle condition is carried out separately for each section of polygonometric traverse enclosed between the neighbouring intersectional benchmarks. Thus, for the section enclosed between the benchmarks Nos. 11 and 12, the angles

of this traverse must be equalized between the initial α_{11-1} and the final α_{12-1} bearing angles. The angular error w_α of the section of the traverse is distributed evenly among its angles.

The following circumstances should be taken into account when equalizing the increments of coordinates:

1. The measurement of lengths of sides is performed less exactly than that of angles; the rise of the exactness by increase of sets is inexpedient since this work is very labour-consuming.
2. The exactness of computation of coordinates of the intersectional benchmarks is determined first of all by exactness of coordinates of unmovable reference points. In many cases the coordinates of unmovable reference points and intersectional benchmarks are determined roughly; this is permitted by the application of the differential method, since the absolute values of coordinates in this method have no meaning (Кель и Белолыков, 1954). But it is important for the polygonometric method since the equalization by the condition of sides must be carried out related to the difference of coordinates of the end points of the polygonometric traverses. Therefore, for the best equalization it is always preferable to have the closed, i.e. ring-shaped polygonometric traverses; the difference of coordinates for them is equal to zero. Such a traverse is shown on Fig. 1 between the intersectional benchmarks Nos. 11—13—14—11. The coordinates of the intersectional benchmarks Nos. 13 and 14 in this traverse may be determined with a great error. If the coordinates of the intersectional benchmarks are determined with sufficient exactness one may plot between them unclosed traverses (Fig. 1, traverse between benchmarks Nos. 11 and 12). Finally, the last group compose the open traverses (Fig. 1, traverses between benchmarks Nos. 12—29 and 13—30).

The equalization for the closed polygonometric traverses is carried out by the formulas

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= 0 \\ \sum l_y + w_y &= 0 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

where l_x and l_y are projections of sides of the polygonometric traverse on the coordinate axes, computed by equations

$$l_x = l \cos \alpha \text{ and } l_y = l \sin \alpha,$$

where l is the length of the side of traverse,

α — the corrected bearing angle, and

w_x and w_y — the linear discrepancies in the increments along axes X and Y correspondingly.

The equalization of unclosed traverses between the intersectional benchmarks in the first cycle of observations is carried out by formulas

$$\left. \begin{aligned} \sum l_x + w_x &= x_b - x_a = L_x \\ \sum l_y + w_y &= y_b - y_a = L_y \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

where x_a, y_a and x_b, y_b are coordinates of the initial and the final intersectional benchmarks of the section under consideration of the polygonometric traverse, correspondingly; values of L_x and L_y for the traverse between benchmarks Nos. 11–12 is shown on Fig. 1.

In the sequent cycles of observation the formulas (2) must be replaced by the following ones

$$\begin{aligned}\sum l_x + w_x &= (x_b + \Delta x_b) - (x_a + \Delta x_a) = L_x + (\Delta x_b - \Delta x_a) \\ \sum l_y + w_y &= (y_b + \Delta y_b) - (y_a + \Delta y_a) = L_y + (\Delta y_b - \Delta y_a)\end{aligned}\quad (3)$$

where $\Delta x_a, \Delta y_a$ and $\Delta x_b, \Delta y_b$ are components of the displacement of the initial and final intersectional benchmarks of the section under consideration of the polygonometric traverse, correspondingly, which took place in the time interval between the first and the given cycle of observation. These components may be obtained graphically from the sheets of the album of observations, projecting the equalized position of the intersectional points on the axes of coordinates.

Linear discrepancies w_x and w_y are distributed among projections M_x and L_y proportionally with the length of sides of the traverse.

No equalization is done for the open polygonometric traverses, and the error is included in the result completely. Therefore, their exactness is low. For control and reduction of errors it is advisable to lay the open polygonometric traverses twice.

Let us consider the determination of the displacement of points. One of the intersectional benchmarks (e.g. No. 11, Fig. 1) is considered as the origin of coordinates; the conditional coordinates of all other points of the polygonometric traverses are determined using the known way of computation. Let these conditional coordinates for the first cycle of observations be x'_i and y'_i . The same determinations are made for each subsequent cycle of observations too. Let us examine the analysis of these data for the second cycle of observations. Let the conditional coordinates of points of the polygonometric traverses be x''_i and y''_i . One may compute now the increments of coordinates $\Delta x_i = x''_i - x'_i$ and $\Delta y_i = y''_i - y'_i$; these increments are related to the displacing origin of coordinates, in this case to the point No. 11.

Two drawings are prepared for the following analysis, one of them on tracing-paper, and the other on Whatman paper.

Coordinate axes X and Y are plotted on a sheet of tracing-paper (Fig. 2,a). The tracing-paper is subsequently put on sheets of the album of observations, the axes of coordinates are matched and the equalized positions of the intersectional benchmarks in the given cycle of observation are plotted on the tracing-paper; these points may be considered as positions of the ends of displacement vectors. The origins of all these vectors coincide with the point of intersection of coordinate axes. The full vectors of displacements are shown on Fig. 2,a by dash lines; these dash lines actually are not plotted. Ellipses of errors are drawn around each of the points on Fig. 2,a.

If all the points on the slope are displaced with the same velocity and in the same direction, all the points on the tracing-paper (Fig. 2,a) must become one. The scattering of points on this drawing reflects the unevenness of displacement of benchmarks.

Coordinate axes Δx and Δy are plotted on a sheet of Whatman paper; displaced position of benchmarks are shown according to the computed increments of conditional coordinates of points of the polygonometric network (Fig. 2, b). In order to avoid the overloading of the drawing, only the points corresponding to the intersectional benchmarks (Nos. 11 to 14) and to the polygonometric benchmarks in the first section (Nos. 21 to 26) are shown on the Fig. 2,b.

The initial point (No. 11) is in the origin of coordinates since all increments for it are equal to zero. As in the case of Fig. 2,a, all points in Fig. 2,b will become one, corresponding to the initial point (No. 11) if all the benchmarks would displace with the same velocity and the same direction, since all the differences of increments of coordinates would be equal. The scattering of points on Fig. 2,b reflect the unevenness of the displacement of benchmarks.

Whatever way is used for the determination of the reciprocal displacement of the intersectional points (Nos. 11 to 14), it must be always the same. In Fig. 2,a this reciprocal displacement was determined by the method of intersections and resections related to the unmovable reference points while in Fig. 2,b it is done by the polygonometric method related to the movable landslide benchmark No. 11. Notwithstanding the method used the reciprocal disposition of these points must be quite the same in the limits of errors of measurements.

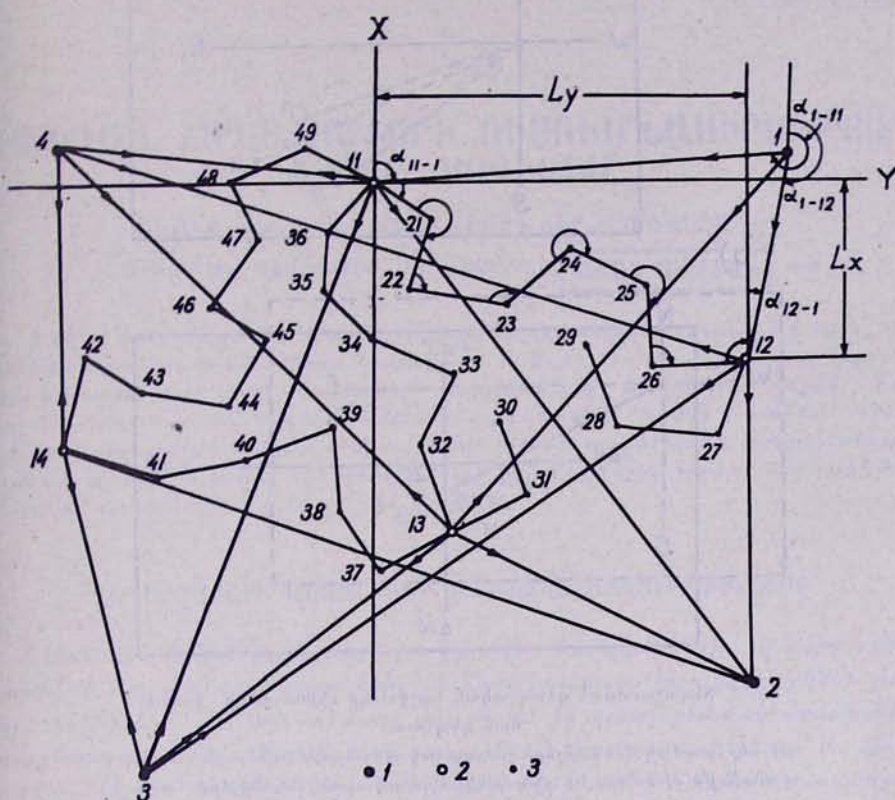
Let us superpose the tracing-paper on the Whatman paper and succeed in getting the coincidence or the best approach of both systems of points corresponding to the intersectional points (Nos. 11 to 14). This must take place in limits of exactness of the measurement. The coordinate axes on both drawings must be parallel to each other.

The position of origins of vectors of displacement (origin of coordinates) and the direction of coordinate axes is known for the drawing on the tracing-paper. Copying this point onto the Whatman paper (e. g. by simply piercing with a needle), we draw on the Whatman paper the coordinate axes X and Y and find the origin of coordinates. Then all the points corresponding to the landslide benchmark of the polygonometric traverses on Fig. 2,b will be the ends of displacement vectors; their origins are in the origin of coordinates (cf. Fig. 2,a).

The result of this superposition is shown on Fig. 2,b by dash-lines; the vector of displacement of the benchmark No. 25 is shown fully on this drawing too.

ԳՐԱԿԱՆ ՈՒԹՅՈՒՆ — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCE

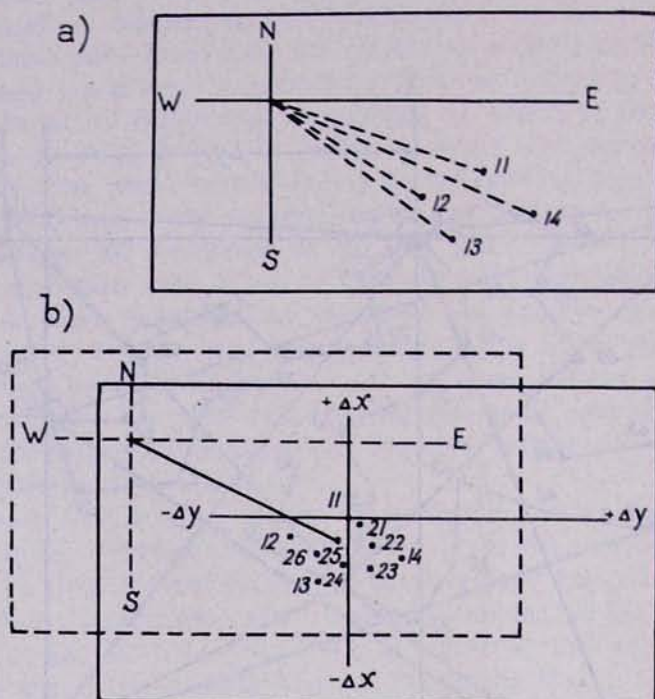
- Кель Н. Г. и Белоликов А. Н., 1954. Определение смещений глины на оползнях дифференциальным методом. Углетехиздат, М.



Նկ. 1. Դիտացանցի խտացման համար բազմանկյունաչափական քաղվերի պլանը.
 1—անշարժ հենանիշեր. 2—ներհատման մեթոդով որոշված շարժական հենանիշեր.
 3—բազմանկյունաչափական մեթոդով որոշված շարժական հենանիշեր:

Рис. 1. План полигонометрических ходов для сгущения наблюдательной сети.
 1—неподвижные опорные реперы, 2—подвижные спорные реперы, определенные методом засечек; 3—подвижные реперы, определенные полигонометрическим методом

Fig. 1. Plan of polygonometric traverses for the thickening of the observation network. 1—immovable benchmarks; 2—movable benchmarks determined by the intersectional method; 3—movable benchmarks determined by the polygonometric method.



Նկ. 2. Տեղաշարժման գծագրական հաշվարկի դիտացանցի խտացման դեպքում

ա) ներշտման հենանիշերի բացարձակ տեղաշարժումներ ցուցադրող մոմաթղթի սխեման. ի) բազմանկյունաչափական հենանիշերի հարաբերական տեղաշարժումը ցուցադրող վատմանի սխեման, և տեղաշարժման վեկտորների որոշում:

Рис. 2. Графический расчет смещения точек при сгущении наблюдательной сети.

а) схема кальки, показывающая абсолютные смещения засечных реперов; б) схема ватмана, показывающая относительное смещение полигонометрических реперов и определение векторов смещения.

Fig. 2. Graphic calculation of displacement of points by the thickening of the observation network.

a) scheme of the tracing paper, showing the absolute displacement of the intersectional benchmarks; б) scheme of the Whatman paper showing the relative displacement of the polygonometric benchmarks and the determination of vectors of displacement.