

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ  
ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ

ԵՐԵՎԱՆԻ ՃԱՐՏԱՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ՇԻՆԱՐԱՐՈՒԹՅԱՆ  
ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

Ս. Վ. ԹՈՎՄԱՍՅԱՆ

**GNSS  
ԳԼՈՒԲԱԼ ՆԱՎԻԳԱՅԻՈՆ  
ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ  
ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ**

ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ՁԵՌՆԱՐԿ



ԵՐԵՎԱՆ 2014

ՀՏԳ 629.783(07)  
ԳՄԴ 32.884.1 ց7  
Գ 700

Տպագրվել է Երևանի ճարտարապետության և  
շինարարության պետական համալսարանի գիտական  
խորհրդի որոշմամբ

Գ 700 GNSS Գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգեր:  
Ուսումնական ձեռնարկ/ Ս.Վ. Թովմասյան -Եր.: Երևանի  
ճարտարապետության և շինարարության պետական  
համալսարան, 2014.- 130 էջ:

Կազմող՝	դասախոս	Ս.Վ. Թովմասյան
Խմբագիր՝	տ.գ.թ., դասախոս	Ե.Հ. Հայրապետյան
Գրախոսներ՝	տ.գ.թ., դոցենտ	Վ.Ա. Մարգարյան
	տ.գ.թ., դոցենտ	Պ.Ա. Էֆենդյան

Ուսումնական ձեռնարկը նախատեսված է մագիստրատուրայի  
«Կադաստր և կիրառական գեոդեզիա» մասնագիտությամբ առկա և հեռակա  
ուսուցման ուսանողների համար, որի նպատակն է օգնել ուսանողներին  
յուրացնել GNSS տեխնոլոգիաները, դրանց կառուցվածքը և աշխատանքի  
նախապայմանները: Չեռնարկը կարող է օգտագործվել նաև տրանսպորտի,  
նավիգացիայի և տուրիզմի ոլորտում սովորող և աշխատող մասնագետների  
կողմից:



Development of this teaching material has been supported by European Unions  
Tempus Programme through the joint project: 511322-TEMPUS-1-2010-SE-JPCR  
Geographic information technology for sustainable development in Eastern  
neighbouring countries (GIDES). This project has been funded with support from the  
European Commission. This publication reflects the views only of the authors, and the Commission  
cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

Սույն ուսումնական նյութը ստեղծվել է Եվրոպական Միության Տեմպուս ծրագրի  
շրջանակներում իրականացված **511322-TEMPUS-1-2010-SE-JPCR** Երկրատեղեկատվական  
տեխնոլոգիաները Արևելյան հարևանության երկրների կայուն զարգացման համար (**GIDES**),  
նախագծի շրջանակներում: Այս նախագիծը ֆինանսավորվել է Եվրոպական Հանձնաժողովի  
կողմից տրամադրվող աջակցության շրջանակներում: Սույն հրատարակությունն  
արտացոլում է միայն հեղինակների տեսակետները և Հանձնաժողովը չի կարող  
պատասխանատվություն կրել դրանում պարունակվող տեղեկատվության ցանկացած  
օգտագործման համար:

ՀՏԳ 629.783(07)  
ԳՄԴ 32.884.1 ց7

ISBN 978-9939-63-214-8

© Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարան, 2014

## ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Ո՞րն է մեր տեղադիրքը երկրագնդի վրա: Այս հարցի պատասխանը երբեմն կարող է լինել կենաց և մահու խնդիր: Օրինակ, օդաչուն տարածք է որոնում ապահով վայրեջքի համար, որպեսզի կարողանա փրկել ուղևորների կյանքը, կամ, օրինակ՝ զբոսաշրջիկները լեռնագնացության արշավի ժամանակ մոլորվել են վատ եղանակային պայմանների պատճառով: Այս ամենից խուսափելու համար մեզ անհրաժեշտ է տեղադիրքի ճշգրիտ որոշման համակարգ: Ձեր տեղադիրքի ճշգրիտ իմացությունը երկրագնդի վրա ունի կարևորագույն նշանակություն գործնական կիրառման համար [3]:



Այդ իրավիճակները կարող են լինել ոչ այնքան դրամատիկ, ինչպես վերը նշվածները, սակայն դրանք նույնպես կարող են նշանակալի ազդեցություն ունենալ մեր առօրյայում: Ինչպես կարելի է իմանալ փնտրվող տվյալ հասցեի գտնվելու վայրը, կամ ինչպես կարելի է տեղեկանալ քաղաքի խցանումների մասին: Տեղադիրքի տեղեկատ-

վության օգտագործման պոտենցիալը թվում է անսահմանափակ: Տեղադիրքի որոշումը երկրագնդի վրա միշտ եղել է կենսական, սակայն այսօր դրա լուծումը դարձել է առավել մատչելի խնդիր:

Վերջին տարիների տեխնոլոգիական զարգացումների շարքում կարևորագույն տեղ է զբաղեցնում Արբանյակային նավիգացիոն կամ գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգը (GNSS): Մի քանի տարիների ընթացքում արբանյակային նավիգացիան զարգացավ և գիտական ֆանտաստիկայից վերածվեց փաստացի գիտության և այժմ ապրում է դինամիկ և արագ զարգացում և աշխարհին առաջարկում է տեղադիրքի ճիշտ որոշման մասնագիտական մակարդակի սարքավորումներ:

Այս ձեռնարկի նպատակն է տալ ընդհանուր տեղեկություններ գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգի մասին: Ձեռնարկում կուսումնասիրվեն զարգացման ներկայումս գոյություն ունեցող մակարդակը և նորամուծությունները: Ձեռնարկը գրված է համակարգն օգտագործողների և արբանյակային նավիգացիայով զբաղվող մասնագետների համար: Ձեռնարկը կազմված է բավականին մատչելի լեզվով, ինչը հասանելի է դարձնում նաև սիրողականներին, ովքեր հետաքրքրվում են գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգով: Ձեռնարկում ներկայացված են արբանյակային նավիգացիայի հիմունքները, ինչպես նաև այլ կարևոր ասպեկտներ, որոնցից են GNSS-ը, քարտեզագրումը և այլն:

Կարծում ենք, որ այս ձեռնարկը օգտակար կլինի Ձեզ, ինչպես օգտակար է արբանյակային նավիգացիան: Այս ոլորտը իրապես շատ գայթակղիչ և կարևոր համակարգ է ամբողջ աշխարհում:

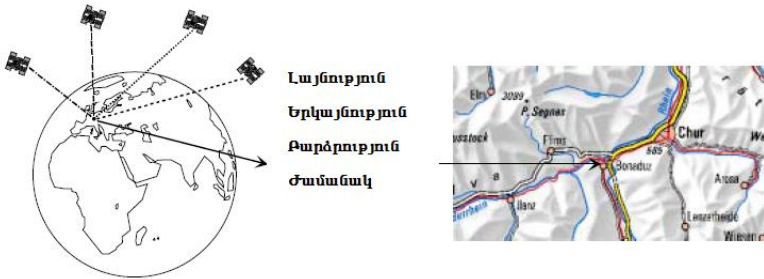
# 1. ԳԼՈՒԲԱԼ ՆԱՎԻԳԱՑԻՈՆ ԱՐՔԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

Գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգերը (GNSS) կիրառվում են երկրագնդի ցանկացած վայրում տեղադիրքի և ժամանակի ճիշտ որոշման համար: Արբանյակային նավիգացիոն ընդունիչները ներկայումս օգտագործվում են ոչ միայն կազմակերպությունների, այլև անհատների կողմից տեղորոշման որոնման, ինչպես նաև հանգստի և առևտրի ոլորտներում:

(GNSS) համակարգի կիրառումը թույլ է տալիս ճշգրիտ կերպով ստանալ երկրագնդի ցանկացած կետի կոորդինատները (նկ.1.1):

1. Ճշգրիտ տեղադիրք (երկայնություն, լայնություն և բարձրություն) 20 մ-ից մինչև 1մմ-ի ճշտությամբ:
2. Ճշգրիտ ժամանակ (համաշխարհային ճշգրիտ UTM ժամ) 60ն/վ մինչև 5ն/վ ճշտությամբ:

Կարելի է նաև ճշգրտորեն որոշել շարժման արագությունը և ուղղությունը՝ հաշվի առնելով վերը նշված պարամետրերը:[1]



Նկ 1.1 Արբանյակային նավիգացիայի հիմնական գործառույթները

Մինչև 2007թ. ԱՄՆ ՊՆ կողմից մշակված GPS գլոբալ նավիգացիոն համակարգը աշխարհում գործող միակ GNSS համակարգն էր: Քանի որ արագ զարգացող արբանյակային նավիգացիոն ճյուղը սերտորեն կապված է GPS համակարգի ստեղծման հետ, այդ պատճառով GPS և արբանյակային նավիգացիա բառերը օգտագործվում են որպես հոմանիշներ: Այս գրքում ներկայացվելու է GPS համակարգը, սակայն նկարագրվելու են նաև մյուս GNSS զարգացող

համակարգերը: GPS համակարգը օգտագործվում է քաղաքացիական և ռազմական նպատակներով: Քաղաքացիական SPS ազդանշանը կարող է ազատ օգտագործվել հանրության կողմից, սակայն PPS ազդանշանը հասանելի է միայն պետական կառավարման որոշ հիմնարկներին:

GPS համակարգի 1-ին արբանյակը տիեզերք է բարձրացվել 1978թ. փետրվարի 22-ին և ներկայումս գործում է 32 արբանյակ, որոնք թռչում են 20280 կմ բարձրության վրա և տեղաբաշխված են 6 տարբեր ուղեծրային հարթություններում 550 անկյան թեքվածությամբ դեպի հասարակած: Վերը նշված պայմանները թույլ են տալիս, որպեսզի ժամանակի ցանկացած պահին, երկրագնդի ցանկացած կետում տեսանելի լինի ոչ պակաս, քան 4 GPS արբանյակներ: Յուրաքանչյուր արբանյակ երկրագնդի շուրջ պտտվում է 12 ժամվա ընթացքում և ունի 4 ատոմային ժամացույց:

GPS-ի համակարգում հիմնականում կանգ են առել հետևյալ 3 ոլորտների վրա.

1. Համակարգը պետք է հնարավորություն տա որոշել տեղադիրքը, արագությունը և ժամանակը, թե շարժման, թե հանգստի ժամանակ:
2. Այն պետք է լինի անընդհատ, գլոբալ, աշխատունակ տարվա ցանկացած եղանակին, դիրքորոշման եռաչափ հնարավորությամբ և ապահովի բարձր ճշտություն:
3. Պետք է ունենա հնարավորություն նաև քաղաքացիական օգտագործման համար:

Մոտակա ժամանակներում երկու գործող GNSS համակարգերից բացի՝ GPS և ГЛОНАСС, գործածության մեջ կդրվեն ևս երկու գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգեր՝ եվրոպական GALILEO-ն և չինական BeiDou-ն: Այս համակարգերը ստեղծվում են ժամանակի ոգուն համապատասխան և լուծում գրեթե միևնույն խնդիրները:

Այս ձեռնարկում կուսուցանվեն արբանյակային նավիգացիոն հիմնական պայմանները, կներկայացվեն կոնկրետ նորամուծությունները և տեխնոլոգիաները: Առավել ուշադրություն կդարձվի GPS համակարգին, որպես սկզբնական օգտագործման համակարգ և ճյուղային ստանդարտների հիմնադիր, ինչպես նաև ուշադրություն կդարձվի դիֆերենցիալ GPS-ին (DGPS), աջակցող GPS-ին (A-GPS), իսկ սարքավորումների ինտերֆեյսերը կուսումնասիրվեն գրքի տարբեր բաժիններում: Այս ամենն ունի մեկ նպատակ՝ որպեսզի ընթերցողն ըմբռնի

օգտագործվող միջոցների կառուցվածքը և ճյուղի առանձնահատկություններն ու կարևորությունը:



*Նկ. 1.2 GPS արբանյակի մեկնարկը*

### 1.1 Արբանյակային նավիգացիա

Ստորև բերված նյութը կպարզաբանի մարդուն հետաքրքրող հետևյալ հարցերը.

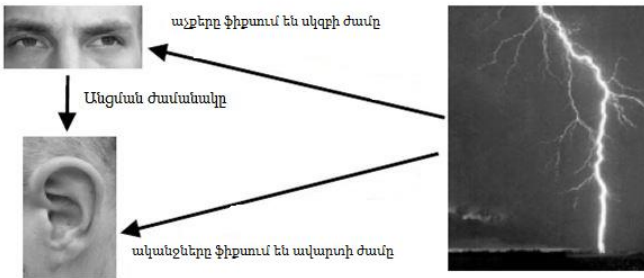
- ինչպես կարելի է որոշել մինչև կայծակը եղած հեռավորությունը,

- որոնք են արբանյակային նավիգացիայի հիմնական գործա-  
նույթները,
- քանի ատոմային ժամացույց կա GPS արբանյակում,
- ինչպես որոշել տեղադիրքը հարթության վրա,
- ինչու է արբանյակային նավիգացիայի համար պահանջվում ոչ  
պակաս քան 4 արբանյակ տեղադիրքի որոշման համար, ապա  
պետք է ուսումնասիրենք:

**Ազդանշանի թռիչքի ժամանակի չափման սկզբունքները**

Տարբեր ժամանակներում կայծակի ժամանակ մարդը ցանկացել է իմանալ, թե որքան հեռու էք գտնվում կայծակից:

Հեռավորությունը կարելի է որոշել բավականին հասարակ ճանա-  
պարհով (նկ.1.3), այն է՝ կայծակի զարկի պահից  $t_1$  մինչև ձայնի լսելի  
դառնալը  $t_2$  միջև ընկած ժամանակահատվածը բազմապատկելով ձայնի  
արագությամբ (330մ/վ): Սկզբնական և վերջնական ժամանակների միջև  
տարբերությունը ( $t_2 - t_1$ ) անվանում են ալիքի անցման կամ թռիչքի  
ժամանակ: Այս դեպքում ձայնային ալիքի ազդանշանը տարածվում է  
մթնոլորտում:



*Նկ.1.3 Կայծակից հեռավորության որոշումը*

Արբանյակային նավիգացիայում ժամանակահատվածի որոշումը իրականացվում է նույն սկզբունքով: Տեղադիրքը հաշվարկվում է հեռավորության որոշման ճանապարհով, որը կախված է հայտնի կոորդինատներով արբանյակի հաշվարկային կենտրոնից: Այս դեպքում հեռավորությունը որոշվում է արբանյակից հաղորդվող ռադիոալիքի անցման ժամանակով և ռադիոալիքի տարածման արագությամբ:



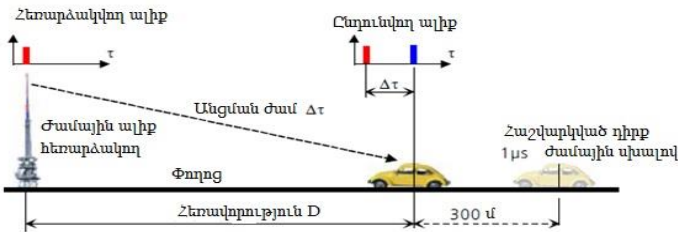
## 1.2 Արբանյակային նավիզացիայի հիմնական խնդիրները

Կետի կոորդինատների որոշման համար բոլոր արբանյակային նավիզացիոն համակարգերը օգտագործում են գրեթե նույն բազային նախապայմանները.

1. Հայտնի կոորդինատներով արբանյակը անընդհատ հաղորդում է ալիքներ, որը պարունակում է տեղեկատվություն ժամանակի վերաբերյալ:

2. Չափված ժամանակի հիման վրա հաշվարկվում է ընդունիչի դիրքը:

Հնարավոր է տեսնել գործող նախապայմանը՝ օգտագործելով հասարակ մոդել: Պատկերացնենք, որ գտնվում ենք մեքենայի մեջ և կարիք ունենք ճշտելու տեղադիրքը երկար փողոցում: Ճանապարհի վերջում գտնվում է ռադիոհաղորդիչը, որը յուրաքանչյուր վայրկյան ուղարկում է իմպուլս ժամանակի վերաբերյալ: Մեքենայում առկա ժամացույցը սինխրոնացված է հաղորդչում տեղադրվախ ժամացույցի հետ: Որոշելով հաղորդչից մինչև մեքենա ծախսված ժամանակը՝ կարող ենք ստանալ մեր դիրքը (նկ. 1.4):



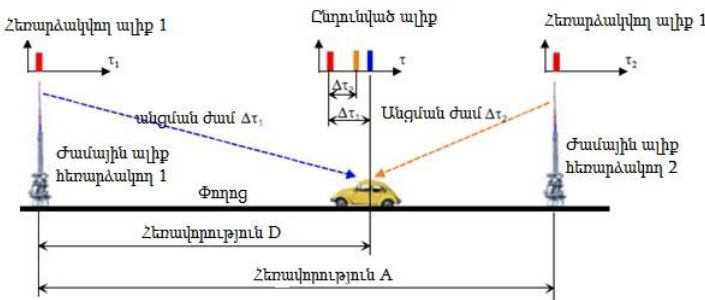
Նկ. 1.4 Հեռավորության որոշումը տեղափոխման վրա ծախսված ժամանակի մեծությամբ

$D$  հեռավորությունը հաշվարկվում է անցման վրա ծախսված ժամանակի՝  $\Delta\tau$ , և լույսի արագության՝  $c$  արտադրյալով:

Եթե մեքենայում գտնվող ժամացույցը ամբողջապես սինխրոնացված չէ հաղորդչի ժամացույցի հետ, ապա կարող են լինել տարբերություններ հաշվարկային և փաստացի հեռավորությունների միջև: Նավիզացիայում այս ոչ ճշգրիտ հեռավորությունն անվանում են

պակտոհեռավորություն: Ժամանակի 1 մկվ սխալը համարժեք է 300 մ պակտոհեռավորության:

Այս խնդիրը լուծելի է՝ մեքենան ճշգրիտ ատոմային ժամացույցով զինելու միջոցով, բայց սա պահանջում է ֆինանսական մեծ ծախսեր: Հաջորդ լուծումը կարող է լինել սինխրոնացված ժամանակ հաղորդող II հաղորդչի օգտագործումը: Այս դեպքում 2 հաղորդիչների միջև հեռավորությունը ճշգրտորեն հայտնի է՝ A, և չափելով D հեռավորությունը 2 հաղորդիչների միջոցով, չնայած մեքենայի ժամացույցը աշխատում է ոչ ճշգրիտ, ստանում ենք մեքենայի ճշգրիտ դիրքը տարածության մեջ (նկ.1.5):



Նկ. 1.5 Կետի տեղադիրքի որոշումը 2 հաղորդիչներով, բարձր ճշտությամբ՝ անտեսելով ժամանակի սխալը

$$D = \frac{(\Delta\tau_1 - \Delta\tau_2) \cdot c + A}{2} \quad (1.1)$$

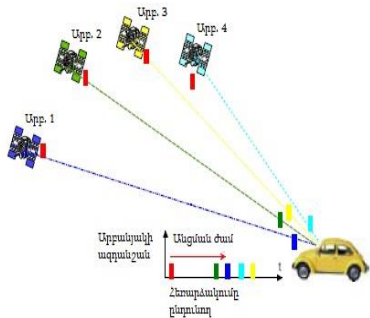
Ինչպես երևում է, գծի վրա տեղադիրքը ճշգրտորեն որոշելու համար անհրաժեշտ է ժամանակի վերաբերյալ ալիք հաղորդող երկու հաղորդիչ: Մրանից կարելի է հանգել հետևյալ եզրակացության՝ տեղադիրքի որոշման համար չսինխրոնացված ժամացույցներ օգտագործելիս կարևոր է, որ ժամանակի ազդանշանի հաղորդիչների քանակը լինի մեկով ավելի անհայտ մեծության թվից:

Օրինակ.

1. նկար 1.5-ում, որտեղ ներկայացված են 2 չափումները, անհրաժեշտ է ժամանակի հաղորդման 3 հաղորդիչ,

2. իսկ տարածության մեջ կետի դիրքը որոշելու համար անհրաժեշտ է ժամանակային ալիքի 4 հաղորդիչ:

Արբանյակային նավիգացիայի համակարգը արբանյակներն օգտագործում է որպես ժամանակային տվյալների հաղորդիչներ: Տեղադիրքի որոշման համար անհրաժեշտ են ամենաքիչը 4 արբանյակներ և միայն այս դեպքում հնարավոր է ճշգրտորեն ստանալ կոորդինատները, այն է՝ աշխարհագրական լայնությունը, երկայնությունը և բարձրությունը, ինչպես նաև ճշգրիտ ժամանակը: Վերը նշվածի վերաբերյալ առավել մանրամասն տեղեկությունները ներկայացված են հաջորդ գլուխներում:



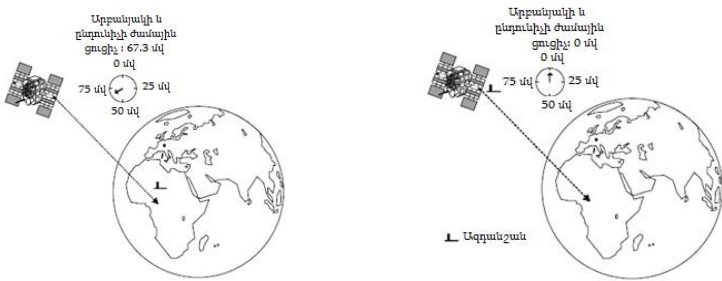
*Նկ. 1.6 Չորս արբանյակների անհրաժեշտությունը անհայտների որոշման համար*

**1.3 Ազդանշանի անցման ժամանակը**

Արբանյակային նավիգացիոն համակարգերում արբանյակները տիեզերքում տեղակայվում են այնպիսի բարձրությամբ և այնպիսի ուղեծրերում, որպեսզի երկրագնդի ցանկացած կետում ցանկացած պահին տեսանելի լինեն առնվազն 4 արբանյակներ:

Այդ արբանյակներից յուրաքանչյուրը ապահովված է ատոմային ժամացույցով: Ատոմային ժամացույցները մարդկությանն առայժմ հայտնի ժամանակ չափող ամենաճշգրիտ սարքերն են, որոնք 30000-ից մինչև 1000000 տարին մեկ անգամ կորցնում են ընդամենը 1վրկ: Որպեսզի վերջիններս լինեն ավելի ճշգրիտ, արբանյակի վրա գտնվող ժամացույցները պարբերաբար ճշգրտվում են երկրագնդի տարբեր մասերում գտնվող կառավարման կայանների ատոմային ժամա-

ցույցների հետ: GNSS արբանյակները իրենց ճշգրիտ տեղադիրքը և ժամը հաղորդում են Երկիր: Այդ ալիքները հաղորդվում են լույսի արագությամբ (300000կմ/վ) և, հետևաբար, պահանջվում է մոտավորապես 67.3մկ, որպեսզի այդ տվյալները հաղորդվեն Երկրի այն կետին, որը գտնվում է արբանյակի տակ: Տեղադիրքը որոշելու համար պահանջվում է ընդունիչ և ճշգրիտ ժամացույց: Համեմատելով արբանյակի ալիքի ընդունման ժամանակը ընդունիչի ժամային ցուցիչի հետ սկսած այն պահից, երբ ալիքը հաղորդվել է, կարելի է որոշել ալիքի անցման վրա ծախսված ժամանակը (նկ.1.7):



ա) ալիքի հաղորդում                      բ) ալիքի ընդունում  
Նկ.1.7 Ալիքի անցման ժամանակի որոշումը

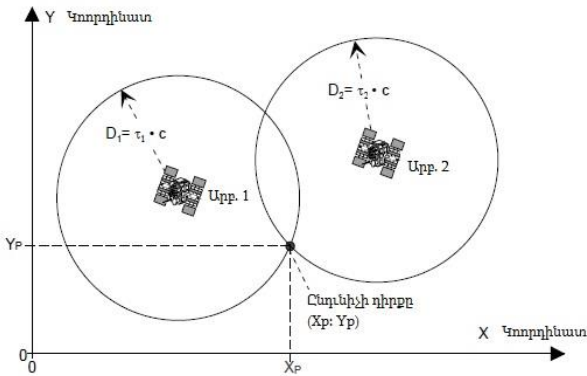
Ինչպես ավտոմեքենայի օրինակում, այստեղ էլ գծի երկարությունը ( $D$ ) արբանյակում կարող է որոշվել ալիքի անցման վրա ծախսված ժամանակի հայտնի մեծությունից՝  $\Delta\tau$ :

$$D = \Delta\tau \cdot c \tag{1.2}$$

**Տեղադիրքի որոշումը:**

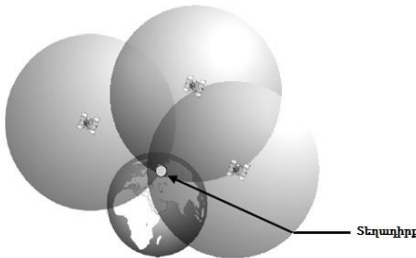
Պատկերացնենք, որ շրջում ենք լայնատարած դաշտում և կցանկանայինք իմանալ մեր գտնվելու վայրը: Երկու արբանյակներ գտնվում են երկնքում և հաղորդում տվյալներ իրենց ժամանակի և տեղադիրքի մասին: Օգտագործելով ալիքների թռիչքի ժամային մեծությունները՝ արբանյակների շուրջ կարելի է գծել 2 շրջանագիծ՝  $D_1$  և  $D_2$  շառավղերով: Յուրաքանչյուր շառավիղը հավասար է արբանյակի համար հաշվարկված մեծությանը: Բոլոր հնարավոր տեղադիրքերը կգտնվեն այդ շրջանագծի շրջանակներում: Այսինքն, արբանյակներից վերև տեղադիրքը հենց այն կետն է, որտեղ երկու շրջանագծերը հատվում են

(նկ.1.8): Այսպիսով, երկու արբանյակը բավարար է պլանային  $x$  և  $y$  կոորդինատների որոշման համար:



*Նկ. 1.8 Ընդունիչի դիրքը երկու շրջանագծերի հատման կետում*

Իրականում անհրաժեշտ է տեղադիրքը որոշել եռաչափ տարածության մեջ, այլ ոչ պլանային հարթությունում և քանի որ հարթության և եռաչափ տարածության միջև կա տարբերություն, ապա  $z$  բարձրությունը որոշելու համար առաջանում է հավելյալ չափումների անհրաժեշտություն: Այսինքն, այդ չափումների համար անհրաժեշտ է հավելյալ երրորդ արբանյակը: Եթե հայտնի են մինչև երեք արբանյակները եղած հեռավորությունները և բոլոր հնարավոր դիրքերը գտնվում են երեք մակերևույթների վրա, որոնց շառավղերը արդեն հաշվարկված են, հետևաբար, ընդունիչի դիրքն այն կետն է, որտեղ այդ երեք մակերևույթները հատվում են (նկ.1.9):



*Նկ. 1.9 Ընդունիչի դիրքը, որտեղ հատվում են բոլոր երեք մակերևույթները*

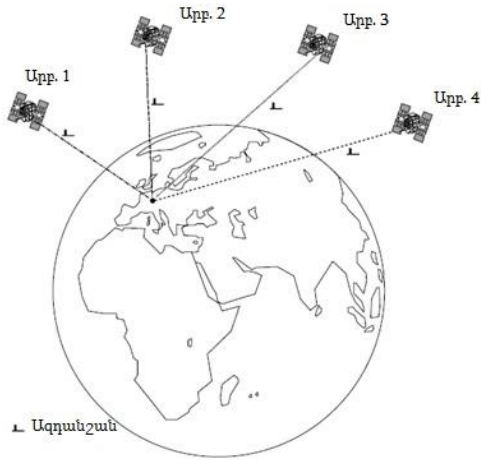
## 1.4 Ժամանակի սխալի ազդեցությունները և ճշտումները

Նախորդ բաժնում բերված հաստատումները ճշգրիտ են միայն այն դեպքում, երբ ընդունիչի և արբանյակների ժամացույցները սինխրոնացված են, այսինքն՝ ալիքի անցման ժամանակը պետք է լինի ճշգրտորեն որոշված: Եթե արբանյակի և երկրային նավիզացիոն ընդունիչի միջև լինի ժամային 1 մկվ տարբերություն, ապա ընդունիչի տեղադիրքը կորոշվի 300մ սխալով: Քանի որ արբանյակների ատոմային ժամացույցները միմյանց հետ սինխրոնացված են, ապա սրանից հետևում է, որ ալիքի անցման ժամանակը բոլոր դեպքերում հավասար է նույն թվին: Այս դեպքում օգնության է հասնում մաթեմատիկան:

Հիշեցնենք՝ մաթեմատիկական հաշվարկների ժամանակ, երբ ունենք  $N$  անհայտ փոփոխականներ, պետք է ունենանք  $N$  անկախ հավասարումներ անհայտները գտնելու համար: Եթե չափման ժամանակն ուղեկցվում է հաստատուն անհայտ ( $t$ ) սխալով, ապա եռաչափ տարածության մեջ կունենանք 4 անհայտ փոփոխականներ.

1. Երկայնություն ( $X$ ):
2. Լայնություն ( $Y$ ):
3. Բարձրություն ( $Z$ ):
4. Ժամային սխալ ( $\Delta t$ ):

Այս 4 փոփոխականները պահանջում են 4 անկախ հավասարումներ, որոնք ստացվում են 4 տարբեր արբանյակներից: Սա է այն փաստի պատճառը, որ արբանյակային նավիզացիոն համակարգերը նախագծվում են այնպես, որ օրվա ցանկացած պահին Երկիր ցանկացած կետում տեսանելի լինեն չորս արբանյակներ (նկ.1.10): Այսպիսով, չնայած ընդունիչի ժամային ցուցիչի սխալին, տեղադիրքը կարելի է որոշել մոտավորապես 3-6 մ ճշտությամբ:



*Նկ. 1.10 3D տարածության մեջ կետի դիրքը որոշումը առնվազն 4 արբանյակներով*

## 2.GNSS ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱՆԵՐԸ

Ստորև բերված նյութը կպարզաբանի հետևյալ հարցերը.

1. թե ինչու են անհրաժեշտ 3 տարբեր GPS սեզմենտներ,
2. թե յուրաքանչյուր սեզմենտը ինչ յուրահատուկ ֆունկցիա է կատարում,
3. թե ինչպիսի կառուցվածք ունի GPS արբանյակը,
4. թե ինչպիսի տեղեկատվություն է ուղարկվում դեպի երկիր,
5. թե ինչպես է արբանյակային ազդանշանը գեներացվում,
6. թե ինչպես է որոշվում արբանյակային ալիքի թռիչքի ժամանակը,
7. թե ինչ է հարաբերակցությունը (КОРРЕЛЯЦИЯ),
8. թե ինչու է GPS համակարգը հասանելի դարձնելու համար հարկավոր կարճ ժամանակահատված,
9. թե ինչպիսի շրջանակներ և ենթաշրջանակներ կան համակարգում:

Օրինակները բերված են GPS գլոբալ նավիգացիոն արբանյակների համար:

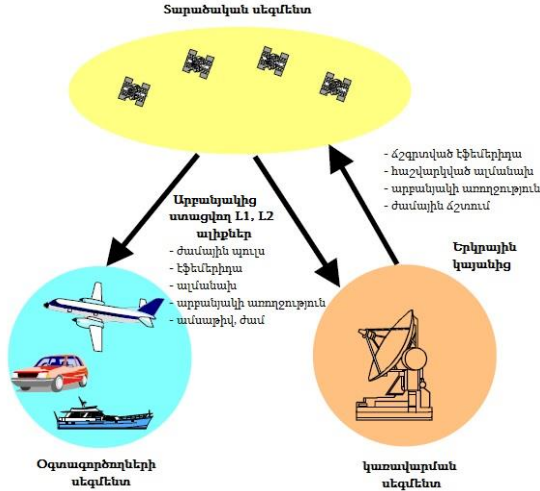
### 2.1 Համակարգի ամբողջական նկարագրությունը

Հաջորդ գլուխներում GNSS տեխնոլոգիաները կուսումնասիրվեն ավելի մանրամասն, որպեսզի ավելի լավ պատկերացում կազմվի GPS-ի կառուցվածքի մասին:

GPS համակարգը կազմված է երեք ֆունկցիոնալ սեզմենտներից (նկ. 2.1)

1. **տարածական սեզմենտ**՝ բոլոր գործող տիեզերական սարքավորումները,
2. **կառավարման սեզմենտ**՝ բոլոր երկրային կայանները, որոնք մասնակցում են համակարգի կառավարմանը՝ գլխավոր կառավարման կայաններ, վերահսկող կայաններ և վերգետնյա կայաններ,
3. **օգտագործողների սեզմենտ**՝ բոլոր քաղաքացիական և ռազմական օգտագործողներ:





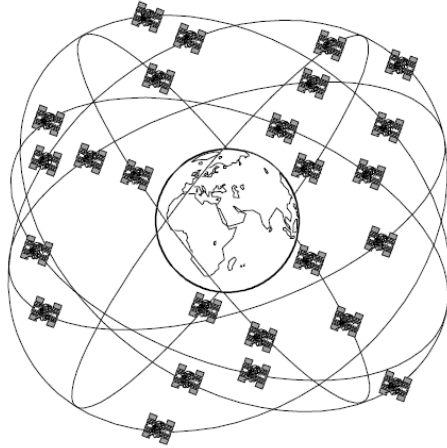
Նկ. 2.1 GNSS 3 սեգմենտները

Ինչպես երևում է նկ.2.1-ից, տարածական և օգտագործողների սեգմենտների միջև գործում է միակողմանի կապ, իսկ երկրային կառավարման կայաններն ունեն երկկողմանի կապ արբանյակների հետ:

## 2.2 Տարածական սեգմենտ

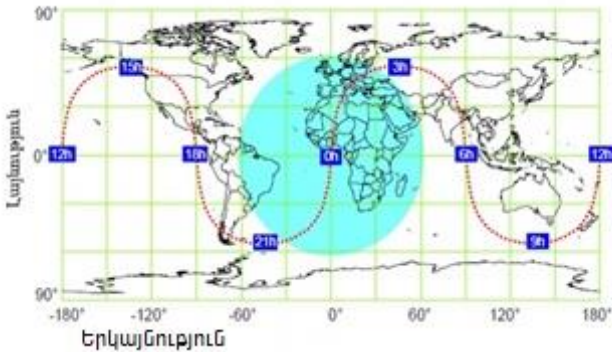
### 2.2.1 Արբանյակային տեղադիրքը և շարժումը

GPS համակարգի տիեզերական սեգմենտը կազմված է 32 գործող արբանյակներից (նկ.2.2), որոնք պտտվում են երկրագնդի շուրջ ճոճերային հարթություններով (յուրաքանչյուր հարթությունում՝ սահմանված թվով): GPS արբանյակները թռչում են 20180կմ բարձրության վրա և թեքված են դեպի հասարակած  $55^{\circ}$  անկյան տակ: Բոլոր արբանյակները մեկ ամբողջական պտույտը Երկիր շուրջ կատարում են 12 ժամվա ընթացքում: Երկիր մոլորակի պտտման շնորհիվ արբանյակը, տիեզերք դուրս բերելուց հետո, իր ելակետային դիրքին բերվում է 24 ժամվա ընթացքում:



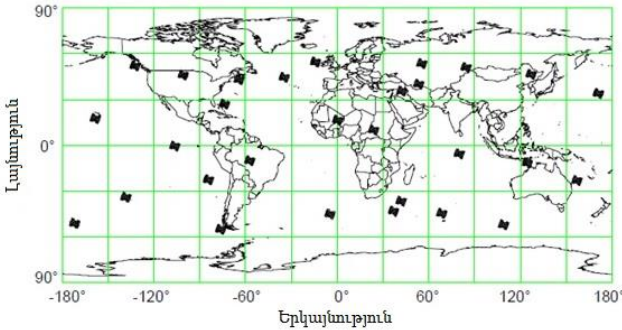
*Նկ. 2.2 GPS արբանյակների պտույտը Երկիր շուրջ 6 ուղեծրային հարթություններով*

Արբանյակային ալիքները կարելի է ընդունել ցանկացած վայրում, որը գտնվում է արբանյակի արդյունավետ տիրույթի շրջանակներում: Նկ.2.3-ում ցույց է տրված արդյունավետ հեռավորությունը (զծանշված մակերևույթ): Այս դեպքում արբանյակը անմիջապես գտնվում է հասարակածի վրա:



*Նկ. 2.3 GPS արբանյակի 24-ժամյա պտույտը և նրա արդյունավետ հեռավորությունը*

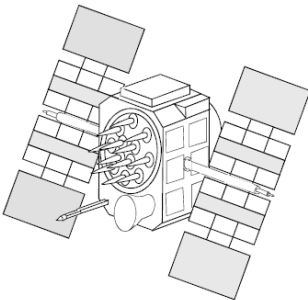
Արբանյակի տեղադիրքը ժամանակի որոշակի պահին կարելի է տեսնել նկ. 2.4-ում: Այս պատկերից երևում է, որ օրվա յուրաքանչյուր պահին երկրագնդի ցանկացած կետում կարելի է տեսնել 4 արբանյակ:



*Նկ.2.4 Արբանյակների դիրքը տիեզերքում օրվա որոշակի պահին*

**2.2.2 GPS արբանյակներ: Արբանյակների կառուցվածքը**

Բոլոր արբանյակները ժամանակի սինխրոնիզացման համար օգտագործում են ներդրված ատոմային ժամացույցներ, որոնք փոխանցում են ժամանակը միևնույն հաճախությամբ: Երկրի վրա ընդունվող ալիքի ամենափոքր ուժը կազմում է 158dBW-ից մինչև 160dBW:



*Նկ.2.5 GPS արբանյակ*

Արբանյակի և օգտագործողների միջև կապի աղբյուրի վերլուծությունը թույլ է տալիս պարզել արբանյակի հզորության նախնական հաշվարկի մեծությունը (աղ.2.1):

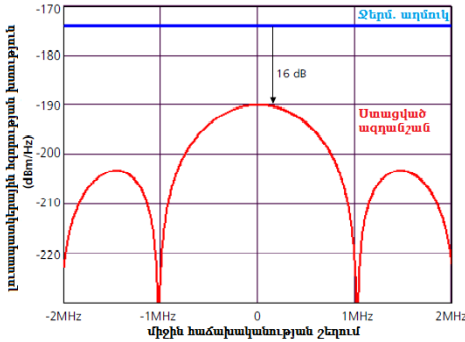
Արբանյակի բնութագրմանը համապատասխան օգտագործողի մոտ ստացվող ամենաթույլ ազդանշանը չպետք է լինի 160dBW-ից փոքր: Այս հզորությունը ապահովում է L1 կողմ ալիքը, որը մոդելավորված է C/A կոդով [2]:

**C/A կողով մողելավորված կրող ալիքի վերլուծություն**

Աղյուսակ 2.1

	Ստացված(+) կորցրած(-)	Բացարձակ արժեք
Արբանյակային հաղորդչի հզորությունը		13,4 dBW (դեցիբելվատ)
Արբանյակային ալեհավաքի հզորությունը	+13,4 dB	
Ներդրված հեռարձակման հզորության արդյունավետությունը		26.8 dBW (56,8dBm)
Կորուստներ բևեռայնավման անհամապատասխանությունից	-3.4 dB	
Ազդանշանի թուլացումը տարածությունում	-184,4dB	
Ազդանշանի թուլացումը մթնոլորտում	-2,0 dB	
Ստացված ընդունող ալեհավաքից	+3.0 dB	
Հզորությունը ընդունիչում		-160dBW(- 130dBm=100.0*10- 10W)

Այսինքն, այս պահանջներին համապատասխանելու համար GPS արբանյակի ընդունվող ազդանշանի հզորությունը, բաց երկնքի դեպքում, պետք է լինի ամենաքիչը 160dBW: Իսկ փոխանցվող ալիքի առավելագույն մեծությունը ընդունվում է 190dBm/Hz (նկ.2.6): Ջերմային աղմուկների հզորության սպեկտր ային խտությունը կազմում է մոտավորապես 174dBm/Hz: Այսպիսով, ընդունվող ալիքի առավելագույն հզորությունը 16dBm-ով ցածր է ջերմային աղմուկի մակարդակից:



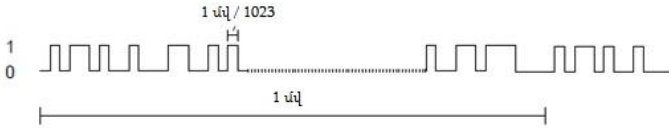
*Նկ.2.6 Ընդունող ալիքի սպեկտրայային խտությունը  
և ջերմային աղմուկը*

Արբանյակային ազդանշաններն են.

1. Արբանյակային և սինխրոնացման ազդանշան:
2. Ճշգրիտ տվյալներ ուղեծրի մասին (էֆեմերիդա):
3. արբանյակային ճշգրիտ ժամի որոշման նպատակով ժամանակի ճշտման տեղեկատվություն:
4. Ստավոր ուղեծրային տվյալներ համակարգի բոլոր արբանյակների վերաբերյալ (ալմանախ):
5. Ալիքի անցման վրա ծախսված ժամանակահատվածի հաշվարկման նպատակով ազդանշանների ճշտում:
6. Տվյալներ իոնոսֆերայի վերաբերյալ:
7. Տվյալներ արբանյակի աշխատանքային վիճակի վերաբերյալ:

Այս տեղեկատվության հաղորդման համար անհրաժեշտ ժամանակը կազմում է 5 րոպե: Նավիգացիոն հաղորդագրությունների օգտագործմամբ ընդունիչը կարող է որոշել բոլոր ալիքների հաղորդման ժամանակը և արբանյակային ճշգրիտ դիրքը՝ ազդանշանը հաղորդելու պահին:

Յուրաքանչյուր GPS արբանյակ հաղորդում է իրեն հատուկ ազդանշան, որը նման է ստորագրության: Այդ, այսպես կոչված, ստորագրությունը կազմված է կեղծ պատահական աղմուկներից (PRN), զրոներից և մեկերից կազմված կորերից, դրանք հաղորդվում են 1 մմ/վ տևողությամբ և անընդհատ կրկնվում են:



*Նկ. 2.7 Կեղծ սլատահական աղմուկ*

Այդ տեղեկատվությունը ունի երկու նպատակ՝

1. Նույնականացում՝ յուրօրինակ ստորագրությունը նշում է, թե որ արբանյակից է առաջացել ալիքը:
2. Ազդանշանի թռիչքի ժամանակի չափագրում:

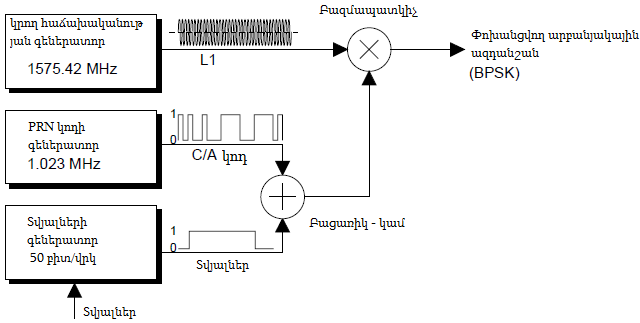
### 2.2.3 Արբանյակային ալիքի առաջացումը

#### **Պարզեցված բյուկ-սխեմա:**

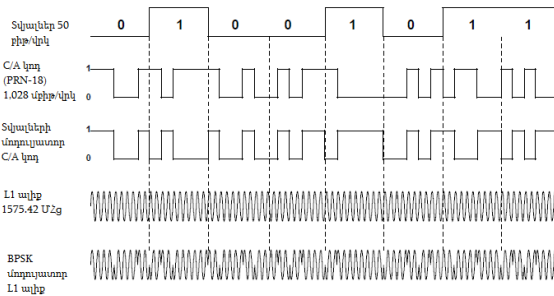
Արդեն նշել ենք, որ յուրաքանչյուր արբանյակում կա 4 ճշգրիտ ատոմային ժամացույց և դրանցից մեկի ռեզոնանսային հաճախությունը առաջացնում է գործընթացի համար անհրաժեշտ ժամանակի իմպուլսի և հաճախության ազդանշան (նկ.2.3, 2.4).

- տվյալների 50Հց իմպուլս,
- C/A (կոպիտ/ստացում), որը մոդուլացնում է տվյալները մի գործողությամբ, բացառելով տվյալների տարածումը 2ՄՀց սահմաններում,
- L1 քաղաքացիական օգտագործման ալիքի հաճախությունը:

Կրող L1 ալիքի տվյալները մոդելավորվում են C/A կողով երկակի ֆազային մանիպուլյատորի օգնությամբ (BPSK): Մոդելավորված տվյալների յուրաքանչյուր փոփոխության հետ L1 կրող ֆազը փոփոխվում է  $180^0$ -ով:



*Նկ. 2.8 Արբանյակի բրոկ-սխեմայի պարզեցված տեսքը*

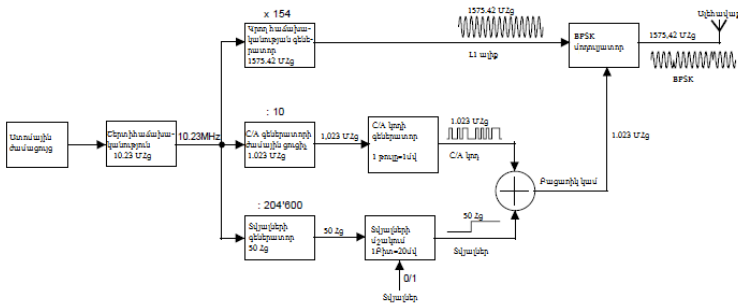


*Նկ. 2.9 GPS ալիքի տվյալների կառուցվածքը*

**Բրոկ-սխեմայի մանրամասն տեսքը:**

Արբանյակային նավիգացիոն ալիքներն առաջանում են որպես DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) մոդուլյացիա գործողության ընթացքում: Այս եղանակի դեպքում ելքային երկակի ալիքը վեր է անցվում պսեղդոպատահական հերթականության, որն օգտագործվում է կոր մոդուլյացիայի համար: Մոդուլյացիայի սպեկտրի ընդարձակման սկզբունքը առաջին անգամ մշակվել է 1940-ական թվականներին ԱՄՆ-ում դերասանուհի Հեյլի Լամարի և դաշնակա հար Ջորջ Անտելի կողմից: Այս գործընթացը թույլ է տալիս ապահովել մոդուլյացիան հուսալի կամ նույնիսկ դժվար պայմաններում:

10.23 Մից նոմինալ կամ հիմնական հաճախականությունը մատակարարվում է արբանյակում տեղադրված ատոմային ժամացույցից: Իր հերթին կրող հաճախականությունը և C/A կողը ստացվում են (ձևավորվում են) այդ հաճախականությունից (նկ.2.10): Քանի որ GPS արբանյակները տվյալներ են հաղորդում 1575.42Մից հաճախականությամբ, այդ գործընթացը հայտնի է որպես CDMA (code Division Multiple Access) Multiplex: C/A կողը ունի կարևորագույն դեր մուլտիպլեքսացման և մոդուլացման մեջ: Սա անընդհատ կրկնվող 1023 բիթերի հաջորդականություն է, որը հայտնի է որպես պսևեղուպատահական աղմուկ կող(PRN): Ինչպես արդեն նշվել է, յուրաքանչյուր արբանյակի համար այս ալիքը մնան է ստորագրության և ցույց է տալիս արբանյակի ինքնությունը: C/A կողը գեներացվում է՝ օգտագործելով հետադարձ կապից ստացված տեղաշարժման ռեգիստրները: Գեներատորն ունի 1.023 Մից հաճախականություն և կազմված է 1023 մասերից, ինչը համապատասխանում է 1մվ-ի: C/A կողը այսպես կոչված ոսկե կող է, որն իր մեջ պարունակում է հարաբերականության օգտակար հատկություններ և ունի կարևոր նշանակություն նավիգացիայի գործընթացում, որի օգնությամբ էլ հաշվարկվում է տեղադիրքը:



Նկ. 2.10 GPS արբանյակի մանրամասն բլոկ-սխեմա

### 2.3 Կառավարման սեգմենտ

GPS-ի կառավարման սեգմենտը (կառավարման օպերատիվ համակարգ՝ OCS) կազմված է մաստեր կառավարման կայանից, որը տեղակայված է Կոլորադոյում, 5 վերահսկիչ կայաններից (որոնցից



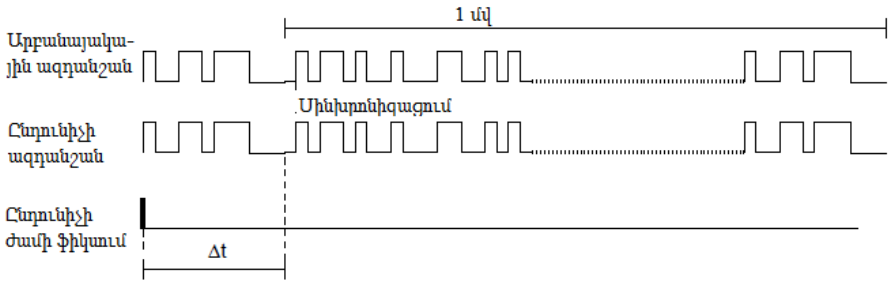
յուրաքանչյուրը հագեցած է ատոմային ժամացույցներով և տեղակայված է հասարակածի երկարությամբ) և 3 վերգետնյա վերահսկող կայաններից, որոնք տվյալներ են հաղորդում դեպի արբանյակ: Կառավարման համակարգի կարևորագույն խնդիրները հետևյալն են.

- հետևել արբանյակի շարժմանը և որոշել ուղեծրային տվյալները (էֆեմերիդա),
- արբանյակային ժամերի մոնիթորինգ և դրանց պահվածքի կանխատեսում,
- արբանյակների ժամերի սինխրոնացում,
- արբանյակից ստացվող ճշգրիտ ուղեծրային տվյալների վերահաղորդում,
- համակարգի բոլոր արբանյակների ուղեծրային մոտավոր տվյալների վերահաղորդում (ալմանախ),
- այլ տվյալների վերահաղորդում, ինչը ներառում է տեղեկություններ արբանյակի առողջության, ժամային սխալի և այլնի մասին:

Կառավարման սեգմենտը վերահսկողություն է իրականացնում նաև ալիքների արհեստական շեղումների նկատմամբ (SA, selective availability), որպեսզի նվազեցվի տեղադիրքի ճշտությունը համակարգը օգտագործողների համար, սակայն ներկա պայմաններում համակարգն իր ամբողջական հնարավորություններով և ամենաբարձր ճշտությամբ արդեն հանձնված է քաղաքացիական օգտագործման:

## **2.4 Օգտագործողների սեգմենտ**

GPS արբանյակից հաղորդված ալիքը պահանջում է 67 Մվ ժամանակ, որպեսզի հասնի երկագնդի վրա տեղակայված ընդունիչ, և քանի որ ալիքը հաղորդվում է հաստատուն արագությամբ (լուսի արագություն  $c$ ), ապա նրա անցման ժամանակի միջոցով պարզ է դառնում ընդունիչի և արբանյակի միջև եղած հեռավորությունը: Ընդունիչի մեջ ընդունվում են գեներացվում են 4 տարբեր արբանյակներից ստացվող 4 տարբեր ազդանշաններ, որոնք ունեն նույն կազմվածքը: Այդ ազդանշանների սինխրոնացման շնորհիվ, հաշվի առնելով արբանյակների շարժը, հնարավոր է դառնում որոշել ճշգրիտ ժամանակը (նկ. 2.11): Այդ ժամանակային շարժումները կոչվում են պսևդոհեռավորություն:



*Նկ. 2.11 Ազդանշանի անցման ժամանակի չափում*

### 3. GNSS ԳԼՈՒԲԱԼ ՆԱՎԻԳԱՑԻՈՆ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

(Գործող և հեռանկարային արբանյակային համակարգեր GLONASS, GALILEO, COMPASS/ BeiDou)

#### 3.1 GLONASS գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ

Ուսումնասիրենք հետևյալ հարցերը.

- ինչպես է գործում ռուսական GLONASS արբանյակային համակարգը,
- ինչպես է նախատեսված կառուցել GLONASS արբանյակային համակարգը,
- որ համակարգն է գործելու Եվրոպայում,
- ինչու է GALILEO-ն մատուցելու տարբեր ծառայություններ,
- ինչպես է աշխատելու BeiDou համակարգը
- ապա պետք է կարդաք այս ձեռնարկը:

GLONASS համակարգը նման է ամերիկյան GPS համակարգին՝ երկու համակարգերում էլ գործում են նույն նախապայմանները տվյալների հաղորդման և տեղադիրքի որոշման վերաբերյալ: GLONASS համակարգը պատկանում է ՌԴ-ին և գործում է ՌԴ-ի ՊՆ-ի ենթակայության տակ: GLONASS համակարգը, ինչպես և GPS համակարգը, կազմված է 3 սեգմենտներից՝ տարածական, կառավարման և օգտագործողների:

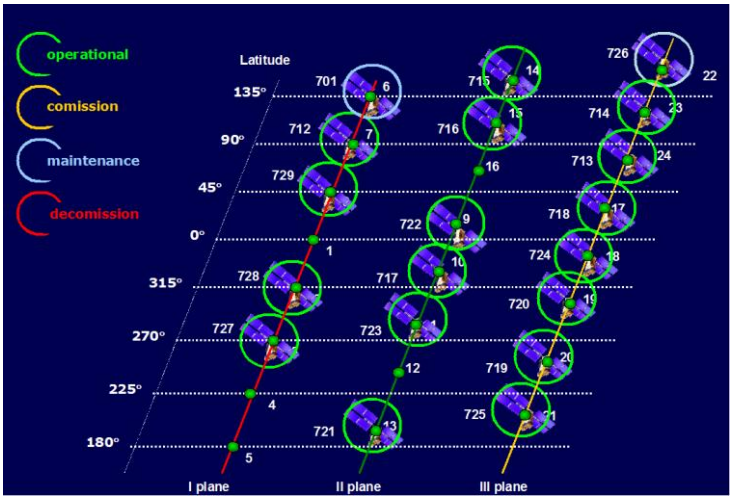
**Տարածական սեգմենտը** կազմված է 24 արբանյակներից, որոնք տեղակայված են 64.8 աստիճան թեքություն և 19100 կմ բարձրություն ունեցող 3 ուղեծրային հարթություններում: Արբանյակները մեկ պտույտը Երկիր շուրջ կատարում են 11ժ 15.8ր-ի ընթացքում: GPS համակարգից հիմնական տարբերություն այն է, որ GLONASS արբանյակները իրենց ուղեծրային շարժման մեջ սինխրոնացված չեն Երկրի պտույտի հետ, ինչը հաղորդում է արբանյակին ավելի մեծ կայունություն: Սակայն թերությունն էլ այն է, որ արբանյակների կյանքը նկատելիորեն կարճ է:

Այս համակարգի թերությունը կայանում է նրանում, որ արբանյակների կյանքի տևողությունը նկատելիորեն կարճ է:

**Կառավարման սեգմենտը** կազմված է.

- Երկրային կառավարման կենտրոնից, որը տեղակայված է Մոսկվայում,
- Մինխրոնացման կենտրոնից, որը գտնվում է Մոսկվայում,
- Վերահսկման կենտրոններից, որոնք գտնվում են Սանկտ Պետերբուրգում,
- Կառավարման նավիգացիոն սարքավորումներից, որոնք գտնվում են Մոսկվայում և Ամուրյան Կոմսոմոլսկում:

**Օգտագործողների սեզմնա:** GLONASS համակարգը Երկիր է հաղորդում ազդանշաններ, որոնց միջոցով օգտագործողը կարող է որոշել իր տեղադիրքը, արագությունը և ժամանակը: Յուրաքանչյուր GLONASS արբանյակ հեռարձակում է քաղաքացիական օգտագործման երկու հաճախականություններ՝ L1 (1570-1610 GHz ՄՀց տիրույթում) և L2 (1235-1257MHz տիրույթում) :



*Նկ. 3.1 GLONASS համակարգի արբանյակների դասավորությունը*

2012-2020թթ. ՌԴ-ն GLONASS համակարգի զարգացման համար տրամադրել է 320 մլրդ ռուբլի և նախատեսվում է բաց թողնել 15 «GLONASS M» և 22 «GLONASS K» արբանյակներ:



*Նկ. 3.2 GLONASS Մ արբանյակ*



*Նկ. 3.3 Պրոտոն հրթիռակրիչ*

### 3.2 GALILEO գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ

GALILEO-ն Եվրոպական գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ է: Եվրոպական միությունը Եվրոպական տիեզերական կազմակերպության հետ համատեղ զարգացնում է այդ համակարգը: Այս երկու կառույցները միասին ստեղծել են GALILEO համակարգը, որի կառավարման կենտրոնը գտնվում է Բրյուսելում և կոորդինացնում է համակարգի ամբողջ աշխատանքը՝ թեստավորումը, ներդրումը և այլն, և կրում պատասխանատվություն այդ համակարգի համար:

Գերմանիայի, Իտալիայի, Ֆրանսիայի, Մեծ Բրիտանիայի, Իսպանիայի և Բելգիայի կառավարությունները ներդրել են ծախսերի 85%-ը: Համակարգը կազմված է լինելու 3 ուղեծրային հարթություններից, 23616 կմ բարձրությամբ: GALILEO-ի ներդրման հիմնական փաստարկները հետևյալներն են.

- ԱՄՆ-ից անկախության ձեռքբերում, ամբողջ աշխարհում գործում է երկու GNSS համակարգ՝ ռուսական և ամերիկյան, որոնք երկուսն էլ ստեղծված են եղել ռազմական նկատառումներով,
- Ելնելով տեղադիրքի որոշման ճշտության տեսանկյունից նախատեսվում է, որ GALILEO-ն կլինի ավելի ճշգրիտ,
- զուտ քաղաքացիական կիրառություն: Թեև GALILEO-ն մշակվում և իրականացվում է քաղաքացիական խնդիրներ լուծելու նկատառումներով, սակայն այն կմատուցի նաև որոշակի ռազմական ծառայություններ,
- մատուցելու է ավելի շատ ծառայություններ: GALILEO-ն տրամադրելու է 5 տարբեր գործառնություններ,
- ապահովելու է որոնման և փրկարարական գործառնություն (SAR),
- անվտանգության բարձրացման ծառայություն, որը օգտագործողին անմիջապես հաղորդագություն կուղարկի սպասվելիք սխալների մասին և հասանելի կլինի միայն EGNOS-ի օգնությամբ,
- նոր աշխատատեղերի ստեղծում: Փորձագետների գնահատմամբ 2020թ. Եվրոպական GALILEO համակարգը կունենա 130000-180000 նոր աշխատատեղեր,

- արբանյակային ազդանշանների գլոբալ ծածկույթի բարելավում: GALILEO-ի ազդանշանները ավելի լավ կրնդունվեն բարձր լայնություններում GPS-ի համեմատ: Դա հնարավոր է, քանի որ GALILEO համակարգի ուղեծիրը ունի 56 աստիճանի թեքվածություն դեպի բևեռ, ինչպես նաև 23616 մ բարձրություն:

### **3.2.1 GALILEO արբանյակային համակարգի ակնկալվող ծառայությունները**

Որոշ կարևոր ենթակետերին GALILEO գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգը մատուցելու է տեղեկատվություն համակարգի ամբողջականության մասին, որպեսզի ապահովի դիրքորոշման ճշտությունը: Օգտագործողները կարող են շատ արագ (6 վայրկյանի ընթացքում) ստանալ տեղեկատվություն, եթե համակարգի ճշտությունը նվազի թույլատրելի միջնորդից: Յուրաքանչյուր ծառայությանը ներկայացված են հասանելիության, ամբողջականության և այլ պարամետրերի տարբեր պահանջներ:

#### **Բաց ծառայություն (OS):**

Բաց ծառայությունը նախատեսված է զանգվածային շուկայի համար: Այն կմատուցի հյուրերի սպասարկման ծառայություն, կհաղորդի անվճար ազդանշաններ տեղադիրքի և ժամանակի որոշման համար, ինչպես նաև կմատուցի այնպիսի ծառայություններ, որոնցում չեն պահանջվում մեծ ճշտություններ և օգտագործվում են մեկ հաճախականությամբ ընդունիչներ: Բաց ծառայությունում չի տրամադրվելու տեղեկատվություն ամբողջականության մասին:

#### **Սոլարային ծառայություն (CS):**

Այս ծառայությունը նախատեսված է շուկայի այն հատվածի համար, որը պահանջում է ավելի մեծ ճշտություն, քան բաց ծառայությունը: Նմանատիպ ծառայության տիպիկ օրինակներն են տվյալների գերարագ հաղորդումը, հասանելիության վստահելիությունը, ընթացիկ ծառայությունների ճշգրիտ ժամանակը և տեղադիրքի առավելագույն ճշտությունը:

#### **Կյանքի անվտանգության ծառայություն (Sol):**

Կյանքի անվտանգության ծառայությունը նախատեսված է այնպիսի նավիգացիոն ծառայությունների մատուցման համար, որոնց խափանումը վտանգավոր է մարդկանց կյանքին: Տվյալները

հաղորդվում են այնպիսի կարևոր կառույցներին, ինչպիսիք են նավագնացությունը, ավիացիան և երկաթուղային բեռնափոխադրումները: Այս ծառայությունները հասանելի են միայն երկալիքանի ընդունիչների օգտագործման դեպքում:

**Հասարակությունը կարգավորող ծառայություններ PRS:**

GALILEO-ն քաղաքացիական համակարգ է, որը մատուցում է հուսալի և հասանելի պաշտպանված ծառայություններ պետական նպատակների համար (այդ թվում նաև ռազմական): Հասարակությունը կարգավորող ծառայությունները հասանելի կլինեն այնպիսի կառույցների համար, ինչպիսիք են ոստիկանությունը և հրշեջ փրկարար ծառայությունները, սահմանապահ զորքերը: Այս ծառայությունը պետք է մշտապես լինի հասանելի և կախված չլինի որևէ պայմանից:

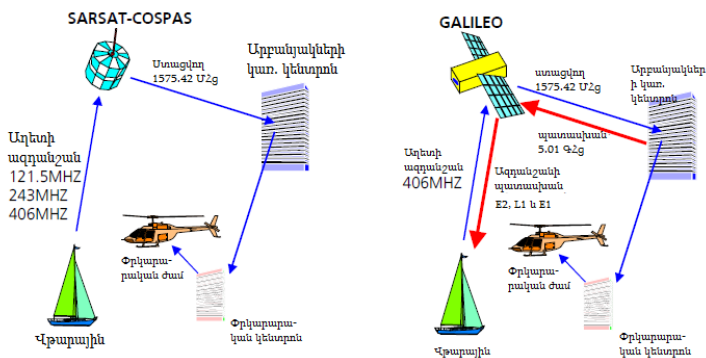
**Որոնողափրկարարական ծառայություն SAR:**

Այս ծառայությունը օգտագործվելու է հումանիտար նպատակներով՝ որոնողափրկարարական աշխատանքներում.

- Երկրի ցանկացած կետից արտակարգ իրավիճակների կանչերի գրեթե վայրկենական գրանցում,
- վթարային վայրերի տեղադիրքի ճշգրիտ որոշում (մինչև մետրի ճշտությամբ),
- տիեզերական սեգմենտի որակական հատկանիշների բարձրացում արբանյակների քանակի ավելացման հաշվին:

GALILEO-ն կապահովի նաև նոր որոնողափրկարարական գործառույթ՝ պատասխան աղետի ազդանշանին: Սա կհեշտացնի փրկարարական աշխատանքները և կնվազեցնի կեղծ կանչերի թիվը: Այս գործառույթը կիրականացվի CIOSPAS-SARSAT-ի հետ համատեղ:



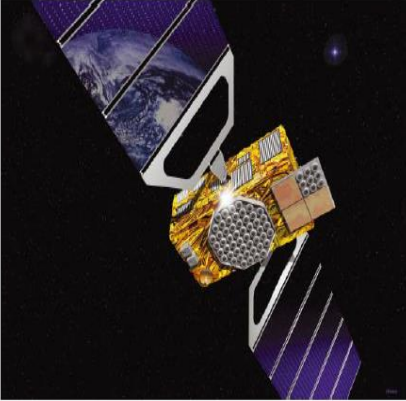


*Նկ. 3.4 GALILEO համակարգի պատասխանը աղետալի վիճակի ազդանշանին ի տարբերության CIOSPAS-SARSAT-ի 3.2.2 GALILEO տեխնոլոգիան*

GALILEO տիեզերական սեզմենտը պետք է կազմված լինի 30 արբանյակներից, որոնցից 3-ը լինելու են պահուստային արբանյակներ (նկ. 3.5):



*Նկ. 3.5 GALILEO արբանյակների դասավորվածությունը*



GALILEO արբանյակները պետք է ունենան 15 տարվա կյանքի տևողություն և 1500 Վտ հզորություն, որը ստացվելու է մեծ մակերեսով արևային մարտկոցներից: Որպեսզի պահպանվեն ընթացիկ նավիգացիոն տվյալները, արբանյակն ունենալու է ռադիոկապ համակարգի երկրային սեզմենտի հե յուրաքանչյուր 100-որդ թույեին (նկ.3.6):

*Նկ. 3.6 GALILEO արբանյակ*

Երկրային(կառավարման) սեզմենտը կազմված է լինելու մի շարք կառավարման կենտրոններից: Այն իր մեջ ներառում է ազդանշանի ամբողջականության վերահսկում և որոնողափրկարարական աշխատանքների համակարգում [3]:

Այս կենտրոնը նախատեսված է նավիգացիայի և արբանյակների վերահսկման համար: Երկրային սեզմենը տեղակայված է լինելու են Գերմանիայում և Իտալիայում:

Նախատեսվում է, որ GALILEO արբանյակները ուղեծիր են բարձրացնելու Ariane 5 հրթիռակրիչը (նկ. 3.7):



*Նկ. 3.7 Արիան 5 հրթիռակրիչը 8 GALILEO արբանյակներով*

2005թ. դեկտեմբերի 28-ին առաջին արբանյակը դուրս բերվեց ուղեծիր Ռուսաստանին պատկանող և Ղազախստանում գտնվող Բայկոնուր տիեզերակայանից (նկ. 3.8):



*Նկ. 3.8 GALILEO արբանյակը և նրա դուրսբերումը ուղեծիր (2005թ. դեկտեմբերի 28)*

## **4. GNSS ԱՐՔԱՆՅԱԿՆԵՐԻ ԹՈՒՉՔԻ ՀԻՄՆԱԿԱՆ ՏԵՍՈՒԹՅՈՒՆԸ**

Արբանյակների ուղեծրային թռիչքը տեղի է ունենում երկրագնդի ձգողականության դաշտի ազդեցության սահմաններում: Բացի երկրագնդի ձգողականությունից արբանյակի վրա ազդում են նաև այլ ուժեր, որոնցից են արեգակի և լուսնի ձգողականությունները, արեգակնային ռադիացիայի ճնշումը: Արբանյակի շարժման մաթեմատիկական հավասարումներն արտահայտվում են 2-րդ կարգի դիֆերենցիալ հավասարումներով, որոնք լուծվում են ժամանակով ինտեգրացման ճանապարհով: Ինտեգրացման ժամանակ տրվում են շարժման նախնական պայմանները, տեղադիրքի վեկտորների և սկզբնական ժամանակահատվածի արագության տեսքով: Որոշ ժամանակ առաջ հաշվարկված արբանյակի տեղադիրքը կարելի է համեմատել դիտարկումներից ստացված տեղադիրքի հետ և այս երկու տեղադիրքերի տարբերությունը կարելի է օգտագործել արբանյակի վրա ազդող ուժերի մոդելների որակի բարձրացման, շարժման սկզբնական պայմանների ճշգրտման և դիտարկման կայանի կոորդինատների ճշտման համար:

### **4.1 Արբանյակի անխափան շարժում**

#### **4.1.1 Անխափան շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները և նրա առաջին ինտեգրալը**

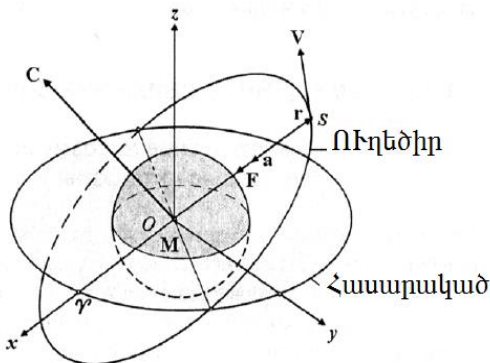
Այն հետազոծը, որով շարժվում է GNSS համակարգի արբանյակը, կոչվում է ուղեծիր: Կախված արբանյակի վրա ազդող ուժերից՝ հետազոծը բաժանում են տեղամասերի, որոնցում ազդում են ձգողականության և իներցիոն ուժերը, և տեղամասերի, որտեղ հավելյալ ուժ է կիրառվում արբանյակի շարժիչների օգնությամբ: Շարժման առաջին տեսակը կոչվում է ազատ թռիչք, երկրորդը՝ ակտիվ շարժում: Դիտարկենք S արբանյակի շարժումը, որն ունի m մասսա և պտտվում է Երկրի շուրջ: Երկիրը դիտարկենք որպես m կշռով կետային մարմին, որում խտությունը բաշխված է համաչափ: Այսպիսի ձգողականության դաշտում վեկտորներն ուղիղ են և ուղղված են դեպի Երկրի կենտրոն: Արբանյակի m կշիռը Երկրի կշռի համեմատ համարենք անսահման փոքր: Այս պայմաններին ավելացնենք նաև այն, որ արբանյակի

շարժման վրա ազդում է միայն Երկրի ձգողականության ուժը: Արբանյակի շարժման այս պայմանների դեպքում երկնային մեխանիկայում այս խնդիրն անվանում են երկու մարմինների սահմանափակ խնդիր: Իներցիալ կոորդինատային համակարգի  $Oxyz$  (նկ. 4.1) կենտրոնը տեղադրենք երկրագնդի  $O$  կենտրոնում, այս համակարգում արբանյակի դիրքը սահմանենք նրա  $r$  շառավղով, արագությունը  $V$  վեկտորով, իսկ արագացումը՝  $a$  վեկտորով:

$$r = (x, y, z)^T \quad (4.1)$$

$$V = \frac{dr}{dt} = \dot{r} = \begin{pmatrix} \dot{x} & \dot{y} & \dot{z} \end{pmatrix}^T = (V_x, V_y, V_z)^T \quad (4.2)$$

$$a = \ddot{r} = \frac{dV}{dt} = \begin{pmatrix} \ddot{x} & \ddot{y} & \ddot{z} \end{pmatrix}^T \quad (4.3)$$



Նկ. 4.1 Երկու մարմինների խնդրում կետերի երկրաչափությունը

Երկրի կենտրոնական ձգողականության դաշտը բնութագրվում է պոտենցիալով.

$$U = \frac{\mu}{r}, \quad (4.4)$$

որը արբանյակի շարժման մեջ առաջացնում է արագացում, հավասար շրջանային արժեքով.

$$\frac{\partial U}{\partial r} = -\frac{\mu}{r^2}, \quad (4.5)$$

որտեղ  $\mu$ –ն երկրակենտրոնական ձգողականության հաստատունն է, իսկ  $r$ -ը արբանյակի հեռավորությունը Երկրի կենտրոնից:

$$\ddot{r} = -\frac{\mu r}{r^3}: \quad (4.6)$$

Ստացված դիֆերենցիալ հավասարումը հանդիսանում է չխանգարված կամ Կեպլերյան շարժում: Կոորդինատային տեսքով (4.6) հավասարումը հասարակ դիֆերենցիալ հավասարումների տեսքով գրվում է այսպես.

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{\mu x}{r^3} \\ \ddot{y} &= -\frac{\mu y}{r^3} \\ \ddot{z} &= -\frac{\mu z}{r^3} \end{aligned} \right\}: \quad (4.7)$$

(4.6) կամ (4.7) բանաձևերը պետք է ունենային 6 անկախ հաստատուն ինտեգրացումներ, որոնք թույլ կտային հաշվարկել արբանյակի դիրքը և արագությունը ցանկացած պահի:

Դիտարկենք 1-ին ինտեգրալները, որոնք բացահայտում են անհանգիստ շարժման օրինաչափությունը:

1. Մակերեսի վեկտորային ինտեգրալներ.

$$C = r \times V: \quad (4.8)$$

Հաստատուն  $C$  վեկտորը հանդիսանում է արբանյակի կինեմատիկ պահի վեկտոր (նկ. 4.1):

Իսկ նրա  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_z$  բաղադրիչները կոորդինատային պահի պրոյեկցիաներն են համապատասխան կոորդինատային առանցքների վրա:  $C$  վեկտորը ստեղծում է ուղեծրային հարթության կողմնորոշումը տարածության մեջ: Ուղեծրային շարժումները տեղի են ունենում մի հարթության վրա, որն անցնում է Երկրի կենտրոնով, իսկ ուղեծիրը հանդիսանում է հարթ կոր:

2. Էներգիայի ինտեգրալ

$$h = V^2 - \frac{2\mu}{r}, \quad (4.9)$$

որտեղ  $h$ -ը հաստատուն էներգիան է: Եթե 4.9 բանաձևը բազմապատկենք  $m/2$ , ապա կստանանք՝

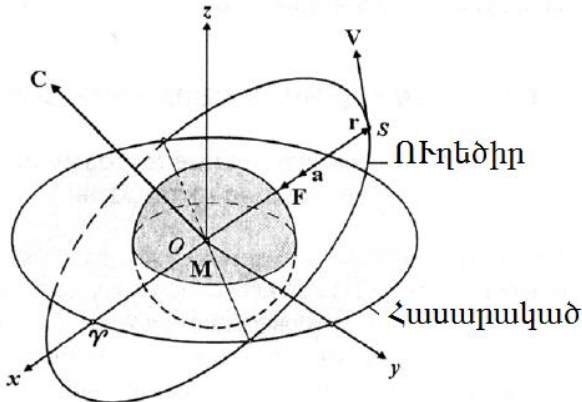
$$\frac{hm}{2} = \frac{mV^2}{2} - \frac{m\mu}{r}, \quad (4.10)$$

ինչից երևում է, որ ամբողջ էներգիան, որը հավասար է կինետիկ և պոտենցիալ էներգիաների գումարին, մնում է հաստատուն:

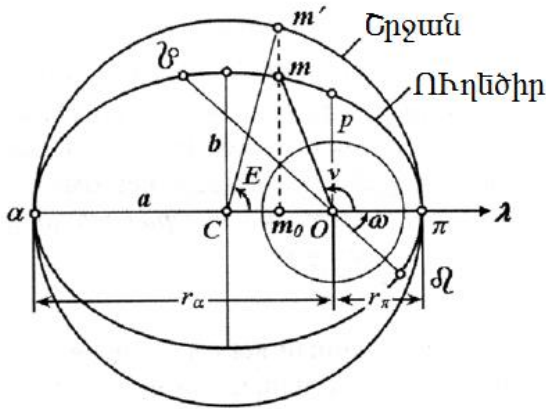
3 .Լապլասի վեկտորային ինտեգրալ

$$-\lambda = C \times V + \frac{\mu r}{r}: \quad (4.11)$$

$\lambda$  հաստատուն վեկտորը կոչվում է Լապլասի վեկտոր: Այն գտնվում է ուղեծրի հարթությունում, ուղղված է արբանյակի ուղեծրի մոտակա  $\pi$  կետին և կոչվում է *պերիգեյ* (նկ. 4.2 և 4.3): Պերիգեյին հակառակ ուղղությամբ ամենահեռու կետը կոչվում է *սպոգեյ*՝  $a$ , իսկ այդ երկու կետերը իրար միացնող գիծը՝ *սպսիդ*: Այն գիծը, որով հատվում են հասարակածի և ուղեծրի հարթությունը, կոչվում է *հանգուցային գիծ* (նկ. 4.2 և 4.3), իսկ ուղեծրի ամենաբարձր կետում արբանյակը հատում է հասարակածի հարթությունը և անցում է կատարում հարավային կիսագնդից հյուսիսային:



Նկ. 4.2 Ուղեծիրը տարածության մեջ



Նկ. 4.3 Ուղեծիրը ուղեծրի հարթությունում

Առաջին ինտեգրալները (յոթ պարամետրեր) կապված են հետևյալ կերպ՝

$$\lambda^2 = C^2 h + \mu^2, \quad (4.12)$$

$$C \times \lambda = 0: \quad (4.13)$$

Այսինքն, այս յոթ հաստատուններից անկախ են միայն 5-ը:

## 4.2 Ուղեծրի տարրերը և Կեպլերի օրենքը

$C, h, \lambda$  շարժումների անընդհատ ինտեգրացումից անցում ենք կատարում այլ հաստատուն պարամետրերի, որոնցով հնարավոր է հաշվարկել արբանյակի կոորդինատները և արագությունը ժամանակի ցանկացած պահին իներցիալ հաշվարկման համակարգում: Այդ տարրերը անվանում են ուղեծրի տարրեր: Դրանց նշանակությունից ելնելով՝ ուղեծրի տարրերը բաժանվում են երեք խմբերի: Առաջին խմբին դասվում են այն տարրերը, որոնք բնութագրում են ուղեծրի չափսը և ձևը: Այն  $a$  մեծ առանցքն է և ուղեծրի էքսցենտրիսիտետը՝  $e$  :

$$a = -\frac{\mu}{h}; \quad e = \frac{\lambda}{\mu}: \quad (4.14)$$



Տարրերի այս խմբին է վերաբերում նաև կիզակետային պարամետր  $p$  -ն, փոքր առանցք  $b$  -ն, արբանյակի ուղեծրի շառավիղները պերիգեյում՝  $r_\pi$  և ապոգեյում՝  $r_a$  (նկ 4.3).

$$p = C^2 / \mu = a(1 - e^2); b = a\sqrt{1 - e^2}; r_a = p / (1 - e), \quad (4.15)$$

ինչպես նաև պտտման ժամանկահատվածը և միջին արագությունը՝

$$P = \frac{2\pi}{n} = 2\pi\sqrt{a^3 / \mu} \quad (4.16)$$

$$n = \sqrt{\mu / a^3} : \quad (4.17)$$

$P$  արբանյակի պտույտը կենտրոնական մարմնի շուրջ ժամանակի այն հատվածն է, որի ընթացքում արբանյակը հաջորդաբար անցնում է ուղեծրի միևնույն կետով:  $n$  միջին արագությունը ներկայացվում է որպես արբանյակի շարժման միջին անկյունային արագություն:

Երկրորդ խմբի տարրերը արտահայտում են ուղեծրի կողմնորոշումը տարածության մեջ, և կապված են մակերեսային և Լապլասի ինտեգրացման վեկտորներով: Այդ տարրերի թվին են պատկանում  $i$  անկյունային թեքությունը,  $\Omega$  լայնությունը և պերիգեյի  $\omega$  արգումենտը(նկ.4.2): Անկյունային թեքություն են անվանում հասարակածի և ուղեծրի միջև կազմված անկյունը: Այն կարելի է հաշվարկել հետևյալ բանաձևով՝

$$i = \arccos \frac{C_z}{C} : \quad (4.18)$$

Բանաձևից երևում է, որ  $0^\circ \leq i \leq \pi$ : Այն ուղեծիրը, որն ունի  $0^\circ$  կամ  $180^\circ$  անկյան թեքություն, կոչվում է հասարակածային, իսկ  $90^\circ$  թեքություն ունեցողները՝ բևեռային: Ուղիղ շարժում ունեցող արբանյակների ուղեծրերն ունեն  $0^\circ \leq i \leq 90^\circ$  թեքություն, իսկ  $0^\circ \leq i \leq 180^\circ$  թեքություն ունեցող ուղեծրերը՝ ուղեծիր արբանյակների հակառակ շարժում [4]:

Ուղեծրի երկայնություն է կոչվում  $\Omega$  անկյունը, որը հաշվարկվում է հասարակածային հարթությունից դեպի գարնանային գիշերհավասարի  $Y$  կետը, մինչև ուղեծրի ծագող հանգույցի ուղղությունը: Երկայնությունը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$\Omega = \operatorname{arctg} \frac{C_y}{-C_x} \quad (4.19)$$

Պերիզեյի արգումենտ անվանվում է ծագող հանգույցի և պերիզեյի միջև եղած անկյունը, որը հաշվարկվում է արբանյակի շարժման ուղղությամբ, հետևյալ բանաձևով՝

$$\omega = \operatorname{arctg} \frac{\lambda_z C}{C_x \lambda_y - C_y \lambda_x} \quad (4.20)$$

Երկայնության և պերիզեյի արգումենտի համար ճիշտ են հետևյալ պնդումները՝  $0^0 \leq \Omega \leq 2\pi$ ,  $0^0 \leq \omega \leq 2\pi$  :

Երրորդ խմբի տարրերը արտահայտում են արբանյակի դիրքը ուղեծրի վրա: Այն տրվում է պերիզեյի  $t_\pi$  անցման պահով կամ ցանկացած անոմալիայով (հիմնականում սովորական միջին)՝ ցույց տալով  $t$  էպոխան: Իրական  $\nu$  անոմալիա անվանում են (նկ. 4.2 կամ 4.3) պերիզեյի և արբանյակի միջև կազմված անկյունը, որը հաշվարկվում է արբանյակի շարժման ուղղությամբ

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{C r \dot{r}}{x y_x + y \lambda_y + z \lambda_z} : \quad (4.21)$$

Միջին  $M$  անոմալիա անվանում են պերիզեյի և ուղեծրով հավասարաչափ շարժվող արբանյակի որոշակի դիրքի միջև կազմված անկյունը.

$$M = n(t - t_\pi) : \quad (4.22)$$

Միջին անոմալիայի հավասարումը երբեմն անվանում են դինամիկ ինտեգրալ:

Իրական և միջին անոմալիաների կապի համար ներմուծվում է էքսցենտրիկ անոմալիա հասկացությունը, որը նշանակվում է  $E$  տառով: Որպեսզի այն ցույց տրվի, ուղեծրային էլիպսի շուրջ նկարվում է երկրաչափական  $C$  կենտրոնով շրջան, որի շառավիղը հավասար է էլիպսի  $a$  մեծ կիսաառանցքին (նկ.4.3): Արբանյակի  $m$  տեղադիրքից տարվում է ուղղահայաց մեծ կիսաառանցքի  $m m_0$  կետին, որը հատվում է շրջանի հետ  $m'$  կետում: Միացվում են  $C$  և  $m'$  կետերը:  $E$  անկյունը, որը հաշվարկվում է էլիպսի կենտրոնում պերիզեյի ուղղության և  $m'$  կետի միջև կազմված անկյունով, անվանում են էքսցենտրիկ անոմալիա:

Իրական և էքսցենտրիկ անոմալիաները կապված են իրար հետևյալ հավասարումով՝

$$\operatorname{tg} \frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \operatorname{tg} \frac{\nu}{2}, \quad (4.23)$$

իսկ միջին և էքսցենտրիկ անոմալիաները կապված են Կեպլերի հավասարումով՝

$$M = E - e \sin E: \quad (4.24)$$

Հաճախ օգտագործվում է ծագող հանգույցի և արբանյակի միջև կազմված անկյունը, որը կոչվում է լայնության արգումենտ և նշանակվում է  $\nu$  տառով:

$$\operatorname{tg} u = \frac{zC}{yC_x - xC_y}: \quad (4.25)$$

Լայնության արգումենտը, իրական անոմալիան և պերիգեյի արգումենտը միմյանց կապված են հետևյալ բանաձևով.

$$u = \omega + \nu: \quad (4.26)$$

Գոյություն ունեն մի շարք այլ տարրեր: Այստեղ բերված պարամետրերը՝  $a$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$ ,  $t_\pi$  կոչվում են ուղեծրի Կեպլերյան տարրեր: Կենտրոնական մարմնի շուրջ արբանյակի պտտման օրենքը, որը հայտնագործել է Ի.Կեպլերը XVII դարում, սկզբում մշակված էր արեգակի շուրջ պտտվող մոլորակների համար, սակայն այն կիրառելի դարձավ բոլոր այլ մարմինների համար, քանի որ այդ օրենքների հիմքում ընկած է երկրագնդի ձգողության օրենքը:

Կեպլերի 1-ին օրենք. արբանյակի շարժումը ձգող մարմնի շուրջ միշտ կատարվում է կոնաձև հատույթների տեսքով (շրջանաձև, էլիպսաձև, պարաբոլաձև, հիպերբոլաձև և ուղիղ), որոնցից մեկի կենտրոնում գտնվում է ձգող կենտրոնը: Օրենքն արտահայտվում է ուղեծրի հավասարեցմամբ և ունի հետևյալ տեսքը.

$$r = \frac{P}{1 + e \cos \nu}: \quad (4.27)$$

Կախված էքսցենտրիսիտետի մեծությունից տարբերակում են հետևյալ տեսքի ուղեծրեր, որոնք ունեն շրջանի՝  $e = 0$ , էլիպսի՝  $0 < e < 1$ , պարաբոլի՝  $e = 1$ , հիպերբոլի՝  $e > 1$  տեսք, և ուղիղ՝  $e = \infty$ : Հետագայում կուսումնասիրվեն էլիպսաձև ուղեծրերը: Կեպլերի 2-րդ օրենքը նկարագրելու համար մեզանից պահանջվում է ներմուծել սեկմորիալ

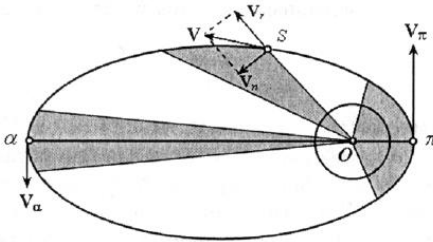
արագության հասկացությունը, որը բնութագրվում է ժամանակի միավորի ընթացքում արբանյակի շառավիղ վեկտորով կազմված մակերեսով: Այն կապված է հաստատուն  $C$  սկալյար մակերեսի հետ:

$$\dot{S} = \frac{C}{2} : \quad (4.28)$$

Արբանյակի շառավիղ-վեկտորով կազմվող մակերեսը ժամանակի որոշակի պահին  $t - t_0$ , կարելի է ստանալ որոշյալ ինտեգրալի տեսքով՝

$$S = \int_{t_0}^t \frac{C}{2} dt = \frac{C}{2} (t - t_0) , \quad (4.29)$$

որն էլ Կեպլերի 2-րդ օրենքի մաթեմատիկական բանաձևն է: Հավասար ժամանակի ընթացքում արբանյակի շառավիղ-վեկտորը բնութագրում է հավասար մակերեսներ (նկ.4.4), ինչից հետևում է, որ ուղեծրում արբանյակի շարժման գծային արագությունը պերիգեյում՝  $V_\pi$  ավելի մեծ է, քան ապոգեյում՝  $V_\alpha$ :



Նկ.4.4 Արբանյակի արագությունը և Կեպլերի 2-րդ օրենքը

Նկար 4.4 վրա մգեցված մակերեսները բնութագրվում են շառավիղ-վեկտորով ժամանակի հավասար պայմաններում և ունեն հավասար մակերեսներ:

Եթե կենտրոնական մարմինն (Երկիր) ունի երկու արբանյակ՝ համապատասխանաբար  $P_1$  և  $P_2$  ժամանակահատվածով, որոնք  $a_1$  և  $a_2$  մեծ կիսաառանցքներն են, ապա դրանց քառորդների ժամանակահատվածի համար կարելի է գրել հետևյալ բանաձևերը.

$$P_1^2 = \frac{(2\pi)^2 a_1^3}{\mu} ; P_2^2 = \frac{(2\pi)^2 a_2^3}{\mu} , \quad (4.30)$$

իսկ այս արտահայտությունների հարաբերությունը Կեպլերի 3-րդ օրենքն է:

$$\frac{P_1^2}{P_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}; \quad (4.31)$$

### 4.3 Կեպլերյան տարրերով ուղեծրերի արբանյակի տեղադիրքի և արագության հաշվարկ

Եթե հայտնի են ուղեծրի վեց տարրերը՝  $\alpha$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\Omega$ ,  $\omega$ ,  $t_\pi$  ապա ժամանակի  $t$  պահին արբանյակի կոորդինատները հաշվարկվում են հետևյալ ձևով.

1. հաշվարկվում է միջին արագությունը (4.17) բանաձևով,
2. ժամանակի  $t$  պահին հաշվարկվում է արբանյակի միջին անոմալիան

$$M = n(t - t_\pi), \quad (4.32)$$

3. կատարվում է անցում միջին անոմալիայից էքսցենտրիկ անոմալիայի

$$E = M + e \sin E, \quad (4.33)$$

ինչի համար հաճախ օգտագործվում է մերձեցման եղանակը: 0-ական մերձեցման ժամանակ  $E^0 = M$ , հաջորդող մերձեցումներում  $E^i = M + E \sin E^{(i-1)}$ , գործընթացը շարունակվում է այնքան ժամանակ, մինչև  $[E^{(i)} - E^{(i-1)}] \geq \varepsilon$ , որտեղ  $\varepsilon$ -ը Կեպլերի օրենքի լուծման ճշտությունն է:

4. հաշվարկվում է արբանյակի իրական անոմալիան՝ օգտագործելով էքսցենտրիկ անոմալիան.

$$\operatorname{tg} \frac{v}{2} = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}, \quad (4.34)$$

5. հաշվարկվում է արբանյակի շառավիղ-վեկտորը հետևյալ բանաձևերով.

$$r = \frac{P}{1 + e \cos v}, \quad r = a(1 - e \cos E), \quad (4.35)$$

6. հաշվարկվում է լայնության արգումենտը (4.26) բանաձևով:

7. իներցիալ հաշվարկային համակարգում հաշվարկվում են արբանյակի տեղադիրքի վեկտորի տարրերը.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = R_3(-\Omega)R_1(-i) \begin{bmatrix} r \cos u \\ r \sin u \\ 0 \end{bmatrix} = r \begin{bmatrix} \cos u \cos \Omega - \sin u \sin \Omega \cos i \\ \sin \Omega \cos u + \sin u \cos \Omega \cos i \\ \sin u \sin i \end{bmatrix}: \quad (4.36)$$

Արբանյակի  $V$  արագության վեկտորը, որն ուղղված է ուղեծրին շոշափողի ուղղությամբ, բաժանվում է երկու բաղկացուցիչ մասերի (նկ. 4.4):  $\Omega$ -ադիալ արագության վեկտորը՝  $V_r$ , որն ուղղված է արբանյակի շառավիղ-վեկտորի ուղղությամբ և տրանսվերսալ արագության վեկտորը՝  $V_n$ , որն ուղղված է ուղեծրի հարթությունում ուղղահայաց շառավիղ-վեկտորին: Այս արագությունները հաշվարկվում են հետևյալ բանաձևերով.

$$V_r = \sqrt{\frac{\mu}{p}} e \sin v, \quad V_n = \sqrt{\frac{\mu}{p}} (1 + e \cos v): \quad (4.37)$$

Այսպիսով, արբանյակի արագության վեկտորը հաշվարկում է այս բանաձևով.

$$\begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix} = R_3(-\Omega)R_1(-i) \begin{bmatrix} V_r \cos u - V_n \sin u \\ V_r \sin u + V_n \cos u \\ 0 \end{bmatrix}: \quad (4.38)$$

## 4.4. Խանգարված շարժում

### 4.4.1 Խանգարված շարժման դիֆերենցիալ հավասարումներ

Բացի ձգողականության կենտրոնական ուժից, արբանյակի ազատ թռիչքի վրա ազդում են նաև այլ ուժեր.

1. ձգողության ոչ կենտրոնականություն, որն առաջանում է երկրագնդի ոչ գնդաձև լինելուց և նրանում ծավալի ոչ հավասարաչափ բաշխումից,
2. արեգակի, լուսնի և այլ երկնային մարմինների ձգողականության դաշտի ազդեցություն,
3. մթնոլորտի դիմադրողականություն,
4. արեգակնային ռադիացիայի ուղիղ և անդրադարձված ճնշում,

5. լուսնաարեգակնային մակընթացություն և այլն:

Այն արբանյակներում, որոնք ունեն վառելանյութի պաշար, արագացումները կարող են առաջանալ վառելիքային տարաներից գազի արտահոսքի պատճառով: Այս բոլոր ուժերը կոչվում են խանգարող ուժեր  $F_{\text{խան.}}$ , արբանյակի շարժումը՝ խանգարված շարժում, իսկ այս ուժերի հետևանքով առաջացած արագացումը՝ խանգարող արագացում: Դինամիկայի 2-րդ օրենքի համաձայն.

$$\ddot{r}_{\text{խան.}} = F_{\text{խան.}} / m, \quad (4.39)$$

որտեղ  $m$ -ը արբանյակի զանգվածն է: Այստեղ  $\ddot{r}_{\text{խան.}}$  և  $F_{\text{խան.}}$ -ը հանդիսանում են վեկտորների գումար, որոնք համապատասխանում են տարբեր խանգարող ուժերին: Խանգարող շարժման դիֆերենցիալ հավասարումը կարելի է ստանալ 4.6 բանաձևից եթե հաշվի առնենք խանգարող արագացման վեկտորը

$$\ddot{r} = -\frac{\mu r}{r^3} + \ddot{r}_{\text{խան.}} \quad (4.40)$$

կամ

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x} &= -\frac{\mu x}{r^3} + \ddot{x}_{\text{խան.}} \\ \ddot{y} &= -\frac{\mu y}{r^3} + \ddot{y}_{\text{խան.}} \\ \ddot{z} &= -\frac{\mu z}{r^3} + \ddot{z}_{\text{խան.}} \end{aligned} \right\} : \quad (4.41)$$

(4.40) կամ (4.41) հավասարումների լուծումները հնարավոր են միայն որոշակի պայմաններում: Բացի այդ, գործում են նաև շարժման այլ մոդելներ, որոնք թույլ են տալիս ստանալ բավականին մեծ ճշտություն: Իրական ուժերի վերափոխումը մոդելավորված ուժերի, որոնք թույլ են տալիս ինտեգրել հավասարումները, ի հայտ է բերում միջանկյալ ուղեծրի հասկացությունը: Միջանկյալ ուղեծրի տարբերակ է կեպլերյան ուղեծիրը: Խանգարված շարժման ուսումնասիրության

Ժամանակ օգտագործվում է Լանդրաժի սկզբունքը, որի համաձայն խանգարված շարժումը կատարվում է մի ուղեծրով, որի տարրերը փոփոխվում են ժամանակի ընթացքում: Սա նշանակում է, որ խանգարված ուղեծիրը ժամանակի յուրաքանչյուր պահին համապատասխանում է դրա հետ ընդհանուր  $r$  շառավիղ-վեկտոր և  $V$  արագության վեկտոր ունեցող որոշակի ուղեծրի: Նմանատիպ ուղեծրերը կոչվում է են շոշափող ուղեծրեր, իսկ ուղեծրի տարրերը՝ շոշափող տարրեր:

Խանգարող արագացման վեկտորը կարող է ներկայացվել ուժերից առաջացող  $U$  պոտենցիալ ունեցող վեկտորների և այդ պոտենցիալը չունեցող ուժերի գումարի տեսքով.

$$\ddot{r}_{խան} = \dot{r}'_{խան} + \frac{\partial U}{\partial r}: \quad (4.42)$$

$\partial U$  ֆունկցիան կոչվում է խանգարող պոտենցիալ, իսկ  $\dot{r}'_{խան}$  հանդիսանում է խանգարող վեկտորի արագացում, որոնք առաջանում են ոչ պոտենցիալ (մակերևութային) ուժերից: Այսինքն (4.40) հավասարումը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով.

$$\ddot{r} = -\frac{\mu r}{r^3} + \frac{\partial U}{\partial r} + \dot{r}'_{խան} \quad (4.43)$$

Խանգարված շարժման հավասարումներից մեկը ներկայացվում է անկախի ու փոփոխականի համակարգի տեսքով.



$$\left. \begin{aligned}
 \frac{d\Omega}{du} &= \frac{r^3 G}{\mu p} \sin u \operatorname{cosec} i W \\
 \frac{di}{du} &= \frac{r^3 G}{\mu p} \cos u W \\
 \frac{dp}{du} &= \frac{2r^3 G}{\mu} T \\
 \frac{d\omega}{du} &= \frac{r^2 G}{\mu e} \left[ \cos v S + \left(1 + \frac{r}{p}\right) e \sin v T - \frac{er}{p} \operatorname{ctg} i \sin u W \right] \\
 \frac{de}{du} &= \frac{r^2 G}{\mu e} \left[ \sin v S + \cos v \left(1 + \frac{r}{p}\right) T + \frac{er}{p} W \right] \\
 \frac{dt_{\pi}}{du} &= \frac{r^4 G}{e\sqrt{\mu^3 p}} \left[ (e \sin v N - \cos v) S + \frac{p}{r} NT \right]
 \end{aligned} \right\} \quad (4.44)$$

որտեղ՝

$$G = \left( 1 - \frac{r^3}{\mu p} \operatorname{ctg} i \sin u W \right)^{-1}, \quad (4.45)$$

$$N = \frac{2p^2}{r^2} \int_0^v \frac{\cos v dv}{(1 + e \cos v)^3}, \quad (4.46)$$

որտեղ  $S$ ,  $T$ ,  $W$  (4.44 համակարգ) արբանյակի հետ պտտվող կոորդինատային համակարգի (նկ.4.5) առանցքների վրա պրոյեկտված խանգարող արագացման վեկտորներն են,  $S$  առանցքը ուղղված է շառավիղ վեկտորով,  $T$  առանցքը՝ տրանսվերսալով,  $W$  առանցքը՝ ուղեծրի հարթության նորմալով:  $S$ ,  $T$ ,  $W$  արագացումները կարելի է ստանալ կամ խանգարող արագացում առաջացնող վեկտորի

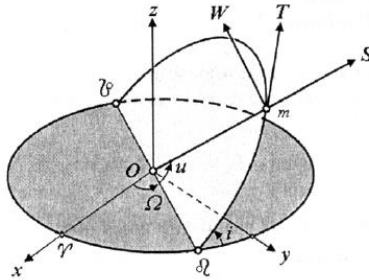
$\ddot{r}_{\text{խան.}} = \begin{pmatrix} \ddot{x}_{\text{խան.}} \\ \ddot{y}_{\text{խան.}} \\ \ddot{z}_{\text{խան.}} \end{pmatrix}$  ձևափոխությունից, պտտման մատրիցայի

օգնությամբ.

$$\begin{bmatrix} S \\ T \\ W \end{bmatrix} = R_3(u)R_1(i)R_3(\Omega) \begin{bmatrix} \bullet\bullet \\ x_{\text{խան}} \\ \bullet\bullet \\ y_{\text{խան}} \\ \bullet\bullet \\ z_{\text{խան}} \end{bmatrix}, \quad (4.47)$$

կամ էլ շոշափող  $U$  ֆունկցիայից.

$$S = \frac{\partial U}{\partial r}, \quad T = \frac{\partial U}{r \partial u}, \quad W = \frac{\partial U}{r \sin u \partial i}: \quad (4.48)$$



*Նկ. 4.5 S, T, W առանցքների համակարգ*

Եթե ժամանակի որոշակի սկզբնական  $t_0$  պահին հայտնի են ուղեծրի տարրերը, ինչը կոչվում է սկզբնական պայման և առկա է խանգարող ուժերի մոդելը, ապա խանգարող արագացումների որոշումից և դրանց (4.44) բանաձևում տեղադրելուց հետո վերջինս կարելի է լուծել անալիտիկ կամ թվային եղանակով: Անալիտիկ լուծման դեպքում կստանանք մի բանաձև, որը թույլ կտա ժամանակի ցանկացած  $t$  պահին ստանալ արբանյակի շարժման պարամետրերը՝ ուղեծրերի տարրերի տեսքով կամ կոորդինատներն ու արագությունը: Թվային եղանակի դեպքում շարժման պարամետրերը ներկայացվում են աղյուսակի տեսքով:

#### 4.4.2 GNSS արբանյակների մատակարարումը էֆեմերիդաներով

Ինչպես հայտնի է, էֆեմերիդա ասելով հասկանում ենք մի աղյուսակ, որը ժամանակի մի շարք պահերին տալիս է արբանյակի կոորդինատները նշված ժամանակահատվածի ընթացքում: Գեոդեզիստները և աստղագետները օգտագործում են էֆեմերիդաները երկնային մարմինների դիրքի և աստղագիտական դիտարկումների ժամանակ մարմնի կոորդինատների որոշման համար: GPS, GLONASS արբանյակների էֆեմերիդաները օգտագործվում են այնպես, որ արբանյակների համակարգը ընդունվում է որպես անիրական աստղեր: Սովորաբար GNSS արբանյակների էֆեմերիդաները պարունակում են ոչ միայն տեղադիրքի, այլև արբանյակների ժամերի մասին տեղեկատվություն: GNSS արբանյակների էֆեմերիդաները հասանելի են 3 տեսքով՝ ավմանախի տվյալներ, արբանյակից հեռարձակվող էֆեմերիդաներ և ճշգրիտ էֆեմերիդաներ: Դրանց միջև տարբերությունը ոչ միայն ճշտությունն է, (աղ. 4.1) այլև ձևը:

Աղյուսակ 4.1

Էֆեմերիդաների տեսակները	Միալները	Նշումներ
Ավմանախ	մի քանի կիլոմետր	Ճշտությունը կախված է տվյալների տարիքից
Արբանյակային	1-3 մ	Հնարավոր է ավելի ճշգրիտ
Ճշգրիտ	0.05-0.2 մ	Ճշտությունը կախված է տվյալների ստացման ուշացման ժամանակից

#### 4.4.3 Ճշգրիտ ուղեծրեր

Ճշգրիտ ուղեծրերը (ճշգրիտ էֆեմերիդաներ) ներառում են յուրաքանչյուր արբանյակի կոորդինատները և արբանյակի ժամի ճշտումը ITRF կոորդինատային համակարգում: Այս տվյալները տրվում են յուրաքանչյուր արբանյակին 15 րոպեի մեկ անգամ: Ճշգրիտ էֆեմերիդաները հանդիսանում են հետմշակման նյութեր, հաղորդվում են

դիտարկումներից մոտավորապես 2 շաբաթ հետո և ունեն 5 սմ-ից փոքր կողողինատային և 0.1 նվ ժամային սխալ:

Ճշգրիտ էֆեմերիդաների անհրաժեշտության հարցի պատասխանը պարզելու համար հարկավոր է իմանալ ուղեծրի ճշտության և բազային գծի ճշտության հարաբերությունը: Ուղեծրում արբանյակի դիրքի միջին քառակուսային սխալը  $M_E$  D բազային գծի վրա կրերի  $M_D$  սխալի, որը համապատասխանում է հետևյալ բանաձևին.

$$M_D = \frac{DM_E}{H}, \quad (4.49)$$

որտեղ H-ը ուղեծրի բարձրությունն է: Այս բանաձևից հետևում է, որ եթե դիտարկվում է 10 կմ երկարությամբ բազային գիծ և մշակումը կատարվում է արբանյակային էֆեմերիդաներով, ապա կարելի է ակնկալել, որ այն կրերի բազային գծում սխալի, որը հավասար է.

$$M_D = \frac{10\text{կմ}}{20000\text{կմ}} 2.6\text{մ} = 1.3\text{մմ} \quad (4.50)$$

Այսպիսով, եթե բազային գծի երկարությունը լինի 100 կմ, ապա սխալը կարող է աճել մինչև 13 կմ:

Ճշգրիտ ուղեծրերը հասանելի են 2 տարբեր ձևաչափերով՝ SP3 (ASCII) և EF18: Ծրագրերից շատերը կարողանում են մշակել այս ֆայլերից մեկը կամ երկուսը միասին: Համացանցում կարելի է գտնել ձևաչափերը փոփոխող ծրագրեր:

Ֆայլի անվանումն ունի հետևյալ տեսքը՝

ZZZ nnnnx.aaa, որտեղ ZZZ –ը կազմակերպության անվանումն է, nnnn - GPS շաբաթների համարը (օրինակ 0855) x - շաբաթվա օրը (0 - կիրակի, 6 - շաբաթ):

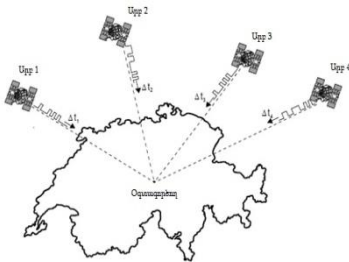
## 5. ՏԵՂԱՂԻՐՔԻ ՀԱՇՎԱՐԿ

GNSS համակարգերը պարունակում են արբանյակային և ռադիոլարդ տեխնոլոգիաներ, որոնք ապահովում են նավիգացիան և լուծում են մի շարք պարզ և բարդ խնդիրներ: Այս խնդիրները լուծվում են արբանյակից ստացվող ազդանշանների շնորհիվ: Այս ազդանշաններով տեղադիրքի հաշվարկը պահանջում է մի շարք մաթեմատիկական հաշվարկներ, որոնք կուսումնասիրվեն ստորև և կպատասխանեն հետևյալ հարցերին.

- թե ինչպես են որոշվում կոորդինատները և ժամանակը,
- թե ինչ է պսևդոհեռավորությունը,
- թե ինչպես GNSS ընդունիչը պետք է կատարի տեղակայման գնահատումը հաշվարկներից առաջ,
- թե ինչպես են լուծվում 4 անհայտով ոչ գծային հավասարումները,
- թե ճշտության որ մակարդակն է հաստատվում GPS օպերատորի կողմից:

### 5.1 Տեղադիրքի հաշվարկ (տեղափոխում)

#### 5.1.1 Ալիքի անցման ժամանակի չափման պայմանները (պսևդոհեռավորության գնահատում)

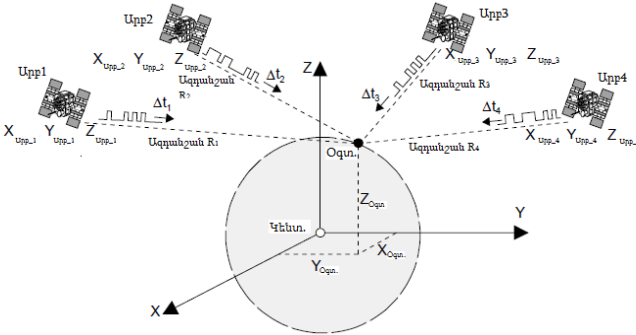


Որպեսզի GNSS ընդունիչը կարողանա որոշել իր տեղադիրքը, հարկավոր է, որ այն ստանա միաժամանակյա ազդանշաններ 4 տարբեր արբանյակներից (նկ. 5.1):

*Նկ. 5.1 Ազդանշանները պետք է հաղորդվեն առնվազն 4 արբանյակներից*

Հաշվարկները կատարվում են դեկարտյան երկրակենտրոն եռաչափ կոորդինատային համակարգերում (նկ. 5.2): Օգտագործողի

դիրքը յուրաքանչյուր 4 (R1, R2, R3, R4) արբանյակներից կարող է որոշվել ալիքի անցման ժամանակահատվածից  $\Delta t_1, \Delta t_2, \Delta t_3, \Delta t_4$ : Քանի որ արբանյակների  $x, y$  և  $z$  կոորդինատները հայտնի են, հետևաբար հնարավոր է հաշվել ընդունիչի կոորդինատները:



Նկ. 5.2 Եռաչափ կոորդինատային համակարգ

Քանի որ արբանյակն ունի ատոմային ժամացույց, ապա ալիքի հեռարձակման ժամը որոշվում է շատ մեծ ճշտությամբ: Բոլոր արբանյակների ժամացույցները ճշգրտված են միմյանց նկատմամբ, սակայն սրան հակառակ ընդունիչի ժամն այս համակարգում ճշգրտված չէ, և ժամային անճշտությունը թույլ է տալիս ճշգրիտ որոշել մինչև արբանյակը եղած հեռավորությունը: Այդ գծի շեղումն իրական չափից անվանում են հեռավորության PSR:

$$\Delta t_{\zeta} = \Delta t + \Delta t_0 \quad (5.1)$$

$$PSR = \Delta t_{\zeta} \cdot c = (\Delta t + \Delta t_0) \cdot c \quad (5.2)$$

$$PSR = R + \Delta t_0 \cdot c \quad (5.3)$$

R-ը արբանյակից մինչև օգտագործողը եղած իրական հեռավորությունն է,

c - ն լույսի արագությունն է,

$\Delta t$  - ն արբանյակից մինչև օգտագործողը ալիքի անցման ժամանակն է,

$\Delta t_0$  - ն արբանյակի և օգտագործողի ժամերի տարբերությունն է

PSR-ը պսևդոհեռավորությունն է:

Արբանյակից մինչև օգտագործողը եղած հեռավորությունը կարելի է հաշվարկել դեկարտյան համակարգում՝ հետևյալ բանաձևով.

$$R = \sqrt{(X_{\text{արբ}} + X_{\text{օգն}})^2 + (Y_{\text{արբ}} + X_{\text{օգտ}})^2 + (Z_{\text{արբ}} + Z_{\text{օգն}})^2} : \quad (5.4)$$

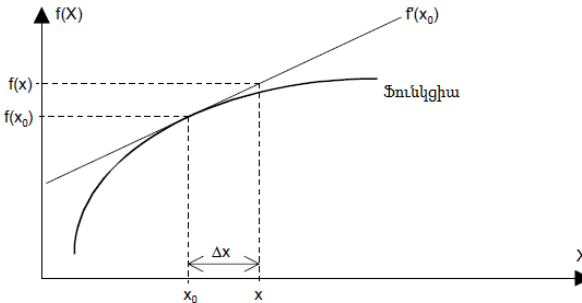
Այսպիսով, (5.4) տեղադրելով (5.3)-ի մեջ կստանանք

$$PSR = \sqrt{(X_{\text{արբ}} + X_{\text{օգն}})^2 + (Y_{\text{արբ}} + X_{\text{օգտ}})^2 + (Z_{\text{արբ}} + Z_{\text{օգն}})^2} + c \cdot \Delta t_0 : \quad (5.5)$$

Չորս անհայտ փոփոխականները որոշելու համար ( $\Delta t_0$ ,  $x_{\text{օգն}}$ ,  $y_{\text{օգն}}$ ,  $z_{\text{օգն}}$ ), հարկավոր են չորս անկախ հավասարումները: Այս պահանջը հնարավոր է բավարարել չորս արբանյակների առկայության դեպքում.

$$PSR_i = \sqrt{(X_{\text{արբ}} + X_{\text{օգն}})^2 + (Y_{\text{արբ}} + X_{\text{օգտ}})^2 + (Z_{\text{արբ}} + Z_{\text{օգն}})^2} + c \cdot \Delta t_0 : \quad (5.6)$$

**Հավասարման դուրսբերումը գծային տեսքի:** (5.6) բանաձևն ունի ոչ գծային տեսք և այն լուծելու համար օգտագործվում է Թեյլորի մոդելը (նկ. 5.3):



Նկ. 5.3 Թեյլորի շարքի կազմումը

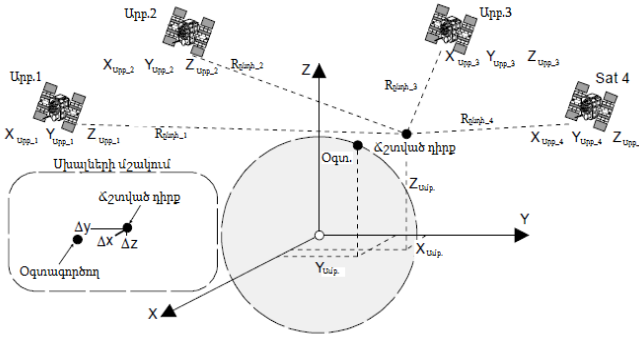
Օգտագործելով  $\Delta X = X - X_0$  -ն կստանանք՝

$$f(x) = f(x_0) + \frac{f'(x_0)}{1!} \times \Delta X + \frac{f''(x_0)}{2!} \times \Delta X^2,$$

ինչի պարզեցված տեսքը կլինի՝

$$f(x) = f(x_0) + f'(x_0) \cdot \Delta X : \quad (5.7)$$

Որպեսզի (5.6) բանաձևը գծայնացվի,  $x_0$  կամայական դիրքը պետք է գտնվի  $x$ -ի անմիջական հարևանությամբ: Այսինքն  $X_{օգտ}$ ,  $Y_{օգտ}$ ,  $Z_{օգտ}$  հաշվարկվում է ոչ թե անմիջականորեն, այլ օգտագործվում է  $X_{ընդի}$ ,  $Y_{ընդի}$ ,  $Z_{ընդի}$  ենթադրվող դիրքը (նկ. 5.4):



Նկ. 5.4 Տեղադիրքի գնահատումը

Ենթադրվող տեղադիրքը իր մեջ պարունակում է անհայտ պարամետրերից առաջացող սխալներ:

$$\begin{aligned} X_{օգտ} &= X_{ընդ} + \Delta x \\ Y_{օգտ} &= Y_{ընդ} + \Delta y \\ Z_{օգտ} &= Z_{ընդ} + \Delta z \end{aligned} \quad (5.8)$$

Ենթադրվող տեղադիրքի և արբանյակների միջև  $R$  հեռավորությունը կարելի է հաշվարկել նույն կերպ, ինչ (5.4) բանաձևում:

$$R_{ընդ\_i} = \sqrt{(X_{արբ\_i} - X_{ընդ})^2 + (Y_{արբ\_i} - Y_{ընդ})^2 + (Z_{արբ\_i} - Z_{ընդ})^2} \quad (5.9)$$

(5.9) բանաձևը համադրելով (5.6) և (5.7) բանաձևերի հետ կունենանք՝

$$PSR_i = R_{ընդ\_i} + \frac{\partial(R_{ընդ\_i})}{\partial x} \cdot \Delta x + \frac{\partial(R_{ընդ\_i})}{\partial y} \cdot \Delta y + \frac{\partial(R_{ընդ\_i})}{\partial z} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0 \quad (5.10)$$

Կատարելով մասնակի դիֆերենցում, կստանանք՝



$$\begin{aligned}
 PSR_i = & R \dot{A}Y^1_{-i} + \frac{X \dot{A}Y^1 - X_{3\bar{n}\mu_{-i}}}{R \dot{A}Y^1_{-i}} \cdot \Delta x + \frac{Y \dot{A}Y^1 - Y_{3\bar{n}\mu_{-i}}}{R \dot{A}Y^1_{-i}} \cdot \Delta y + \\
 & \frac{Z \dot{A}Y^1 - Z_{3\bar{n}\mu_{-i}}}{R \dot{A}Y^1_{-i}} \cdot \Delta z + c \cdot \Delta t_0
 \end{aligned} \tag{5.11}$$

**Հավասարման լուծումը:** Ունենալով չորս անհայտ և համապատասխանաբար չորս հավասարում, կարող ենք լուծել մեր անջև դրված խնդիրները:

$$\begin{bmatrix} PSR_1 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}} \\ PSR_2 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}} \\ PSR_3 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}} \\ PSR_4 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} \tag{5.12}$$

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ –ի արժեքները օգտագործվում են ենթադրվող դիրքի  $x_{\rho\hat{\alpha}\eta}$ ,

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \\ \Delta t_0 \end{bmatrix} = \begin{matrix} Y_{\rho\hat{\alpha}\eta}, Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} \\ \begin{bmatrix} \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-1}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-2}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-3}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}}} c \\ \frac{X_{\rho\hat{\alpha}\eta} - X_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} \frac{Y_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Y_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} \frac{Z_{\rho\hat{\alpha}\eta} - Z_{\omega\rho\rho_{-4}}}{R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}}} c \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} PSR_1 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-1}} \\ PSR_2 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-2}} \\ PSR_3 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-3}} \\ PSR_4 - R_{\rho\hat{\alpha}\eta_{-4}} \end{bmatrix} \end{matrix} \tag{5.13}$$

Կոորդինատների վերահաշվարկման համար (5.8) բանաձևին համաձայն կունենանք.

$$\begin{aligned} X_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} &= X_{\rho\acute{a}\eta\_հիս} + \Delta x \\ Y_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} &= Y_{\rho\acute{a}\eta\_հիս} + \Delta y \\ Z_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} &= Z_{\rho\acute{a}\eta\_հիս} + \Delta z \end{aligned} \quad (5.14)$$

Օգտագործողի տեղադիրքը որոշելու համար կիրառվում են չափումների արդյունքում ստացված վերջին տվյալները, որոնցով հաշվարկվում է  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  անճերը՝

$$\begin{aligned} X_{\text{օգտ}} &= X_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} \\ Y_{\text{օգտ}} &= Y_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} \\ Z_{\text{օգտ}} &= Z_{\rho\acute{a}\eta\_ն\grave{a}\eta\rho} \end{aligned} \quad (5.15)$$

$\Delta t_0$  -ի հաշվարկված արժեքը համապատասխանում է ժամային անկապքին և կարող է օգտագործվել ընդունիչի ժամի սինխրոնացման համար:

### 5.1.2 Սխալների վերլուծություն և DOP

Մինչ այժմ սխալների մեծությունները հաշվարկներում չեն արտացոլվել: GNSS տեխնոլոգիաներում սխալները կարող են առաջանալ տարբեր գործոններից:

1. *Արբանյակային ժամացույց:*

2. *Արբանյակային ուղեծրեր:*

3. *Լույսի արագություն:* (Արբանյակից հեռարձակվող, տրվող) Ազդանշանն արբանյակից շարժվում է լույսի արագությամբ: Այն դանդաղում է, երբ հասվում է իոնոսֆերայի և տրոպոսֆերայի հետ: Հետևաբար, արագությունը չի կարող լինել հաստատուն և այս ուշացումները բացասաբար են ազդում տեղադիրքի ճշտության վրա:

4. *Ազդանշանի անցման սխալի չափում:* GNSS ընդունիչը կարող է ֆիքսել գրանցվող ազդանշանի ժամը սահմանափակ ճշտությամբ:

5. *Բազմուղիություն:* Սխալի արժեքը մեծանում է նաև անդրադարձված ալիքների ընդունման հետևանքով:

6. *Արբանյակային երկրաչափություն:* Տեղադիրքի որոշումը ավելի է դժվարանում, եթե օգտագործվող չորս արբանյակները մոտ են միմյանց:

Արբանյակների երկրաչափության ազդեցությունը չափումների ճշտության վրա անվանում են DOP (ճշտության նվազեցում) (աղյուսակ 5.1):

Գոյություն ունեն չափումների սխալների տարբեր պատճառներ: Աղյուսակ 5.1-ը ցույց է տալիս հորզոնական սխալների տարբեր աղբյուրներ:

***Մխալների պատճառները***

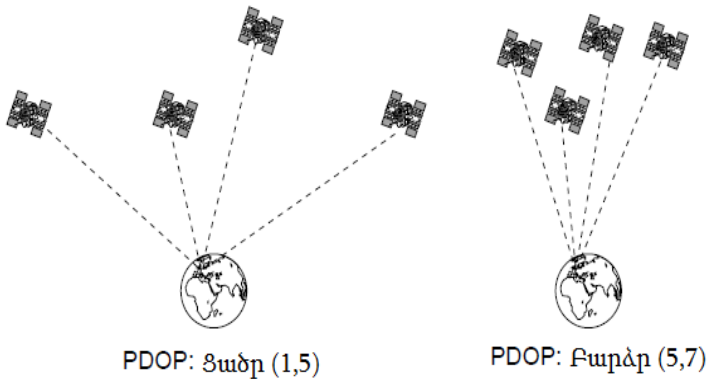
Աղյուսակ 5.1

Մխալների պատճառները	Մխալներ առանց DGPS-ի	Մխալներ DGPS-ով
Էֆմերիդային տվյալներ	2,1 մ	0.1 մ
Արբանյակային ժամացույց	2.1 մ	0.1 մ
Իոնոսֆերային ազդեցություն	4.0 մ	0.2 մ
Տրոպոսֆերային ազդեցություն	0.7 մ	0.2 մ
Ընդունված բազմուղիություն	1.4 մ	1.4 մ
Ընդունիչի ազդեցությունը	0.5 մ	0.5 մ
Ընդհանուր RMS արժեքը՝	5.3 մ	1.5 մ
Ընդհանուր RMS արժեքը՝ գտված	5.0 մ	1.3 մ

Նավիգացիայի համար օգտագործվող GNSS համակարգի տեղադիրքի որոշման ճշտությունը մի կողմից կապված է պսևդոհեռավորությունների չափման հետ, իսկ մյուս կողմից կախված է արբանյակների երկրաչափական փոխդասավորությունից, որը նշանակվում է DOP հապավումով [6]:

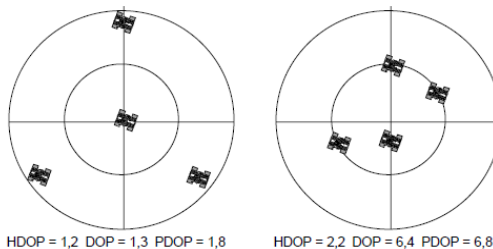
Գոյություն ունեն DOP նշանակության տարբեր կիրառումներ.

1. GOOP՝ երկրաչափական DOP (դիրքը տարածությունում և ժամային լուծումներ),
2. POOP՝ տեղադիրքի DOP ( դիրքը տարածությունում),
3. HOOP՝ հորիզոնական DOP (հորիզոնական դիրք),
4. VDOP՝ ուղղաձիգ DOP (միայն բարձրություն):



*Նկ. 5.5 Արբանյակային երկրաչափական փոխդասավորություն և POOP*

DOP մեծությունը արբանյակներից և օգտագործողից կազմված քառանիստի ծավալին հակադարձ մեծություն է: Լավագույն ճշտությունը ստանում ենք այն ժամանակ, երբ ծավալն առավելագույնն է, այսինքն POOP –ը նվազագույնն է:



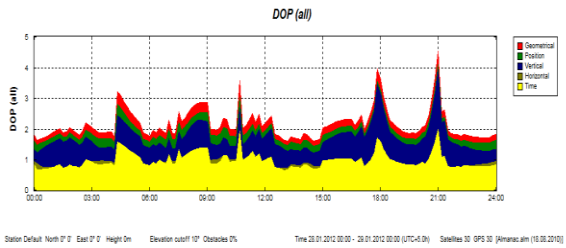
*Նկ. 5.6 Արբանյակների փոխդասավորության ազդեցությունը DOP-ի վրա*

Բաց տարածքներում արբանյակների ծածկույթը այնքան լավն է, որ PDOP և GDOP մեծությունները հազվադեպ են գերազանցում 3 արժեքը:

Լեռնային և անտառային տարածքներում DOP մեծությունն ունի մեծ նշանակություն չափումների պլանավորման համար կախված արբանյակների վատ երկրաչափական դասավորության հնարավոր ֆազերից:

Այսպիսով, չափումները հարկավոր է պլանավորել՝ ելնելով DOP-ի տվյալներից կամ գնահատել չափումների ճշտությունը՝ ելնելով POP մեծությունից:

Առաջատար կազմակերպությունների արտադրած պլանավորման և հաշվարկման բոլոր ծրագրերում կա DOP մեծության ցուցադրման հնարավորություն: Նկար 5.7-ում ներկայացված է DOP-ի օրինակ ժամանակի տվյալ պահին:



Station Default North 17° East 7° Height 0m Elevation cutoff 10° Obstacles 0% Time 2012-12-01 00:00 - 2012-12-01 00:00 (UTC+0:00) Satellites 30 GPS 30 (Minus:alm (18.08.2012))

*Նկ. 5.7 DOP –ի օրինակ օրվա տվյալ պահին*

## 6. ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ GNSS ՏՎՅԱԼՆԵՐԻ ՏԱՐԱԾՄԱՆ ՎՐԱ

Ալիքի տարածման արագությունը ցանկացած հեռաչափական համակարգում ունի կարևոր դեր: Այն ալիքները, որոնք հաղորդվում են GNSS արբանյակներից դեպի Երկիր, պետք է անցնեն Երկրի մթնոլորտով: Մթնոլորտի լիցքավորված մասնիկների ու չեզոք ատոմների և մոլեկուլների հետ շփվելով՝ ալիքների արագությունը և ուղղությունը ենթարկվում են փոփոխության: Ալիքի տարածման առավել բնութագրիչ հատվածներ են համարվում տրոպոսֆերան, ստրատոսֆերան և իոնոսֆերան:

Իոնոսֆերան տեղակայված է Երկրի մակերևույթի շուրջը 50-1500կմ սահմաններում և բնութագրվում է ազատ էլեկտրոնների առկայությամբ (բացասական լիցքավորված): 30 Մհց-ից ցածր կրող հաճախականությունները անդրադարձվում են իոնոսֆերայից, ուր մուտք են գործում միայն բարձր հաճախականություն ունեցող ալիքները: Իոնոսֆերան ցրող միջավայր է, այսինքն, կրող հաճախականության մոդուլացիան և կրող հաճախականության ֆազերը ենթարկվում են տարբեր ազդեցությունների, որոնք կրող հաճախականության ֆունկցիաներ են:

Չեզոք մթնոլորտի՝ տրոպոսֆերայի և ստրատոսֆերայի ազդեցությունը կոչվում է տրոպոսֆերային անդրադարձում: Տրոպոսֆերային անդրադարձման գործողությունը կատարվում է Երկրի մակերևույթից մինչև 40 կմ բարձրության վրա: 30 Մհց-ից ցածր հաճախականությունների դեպքում տրոպոսֆերան չցրող միջավայր է, այսինքն ռեֆրակցիան կախված չէ այն ազդանշանի հաճախականությունից, որը անցնում է նրա միջով:

Երբ արբանյակի ազդանշանը հասնում է Երկրի մակերևույթ, անթերի պայմանների դեպքում այն ընդունվում է անմիջապես ալեհավաքի կողմից: Սակայն ալեհավաքի կողմից կարող են ընդունվել շրջապատող մարմիններից անդրադարձված ազդանշանները: Այս երևույթը կոչվում է ալիքների բազմաճառագայթայնություն, որը առաջ են բերում ծածկագրի և կրող ֆազերի դիտարկումների անցանկալի փոփոխություն: Բազմաճառագայթայնությունը տեղադիրքի որոշման մեջ հանդիսանում է սխալների առաջացման հիմնական աղբյուր: Ալեհավաքի էլեկտրական և երկրաչափական կենտրոնները միշտ չէ, որ

ճշգրտորեն համընկնում են և ժամանակի ընթացքում ենթարկվում են որոշակի փոփոխության: Քանի որ այս փոփոխությունների մեծությունը կարող է լինել սանտիմետրի սահմաններում, ֆազային կենտրոնի դիրքի փոփոխության այս երևույթը մեծ նշանակություն ունի ճշգրիտ դիրքորոշման մեջ:

## 6.1 Տարածման միջավայրը և դրա ազդեցությունը ռադիոալիքի վրա

### 6.1.1 Երկրի մթնոլորտի կառուցվածքը

Մթնոլորտի ուղղաձիգ կառուցվածքի առավել լայն օգտագործվող մոդելը Երկիր մոլորակը շրջապատող, տարբեր հաստությամբ շերտերից կազմված և տարբեր ֆիզիկական հատկություններ ունեցող միջավայրն է: Ջերմաստիճանի բաշխման հետևանքով ըստ բարձրության դասակարգվում են հետևյալ հիմնական շերտերը (նկ. 6.1)՝ տրոպոսֆերա 9-17 կմ, ստրատոսֆերա մինչև 50-55 կմ, մեզոսֆերա՝ մինչև 80-85 կմ, թերմոսֆերա: Անցումային շերտերը կամ այս շերտերի միջև սահմանները կրում են հետևյալ անունները. տրոպոսֆերայի և ստրատոսֆերայի միջև՝ տրոպոպադար, ստրատոսֆերայի և մեզոսֆերայի միջև՝ ստրատոպադար, մեզոսֆերայի և թերմոսֆերայի միջև՝ մեզոպադար: Ֆիզիկաքիմիական գործընթացների հիման վրա կատարվում են բաժանումներ՝ օզոնոսֆերա՝ 10-50կմ, չեզոք մթնոլորտ՝ Երկրի մակերևույթից մինչև 70-80կմ, իոնոսֆերա՝ 70-80կմ-ից բարձր, հեմոսֆերա՝ ստրատոսֆերայից մինչև տրոպոսֆերայի ներքին մասը:

Թերմոսֆերա	Վերին մթնոլորտ	Մագնիսական սֆերա 1500 կմ
100 կմ		Իոնոսֆերա
Մեզոսֆերա	Ստորին մթնոլորտ	50 կմ
Ստրատոսֆերա Տրոպոսֆերա		

Նկ. 6.1 Երկրի մթնոլորտի կառուցվածքը

Էլեկտրամագնիսական ալիքների վրա իրենց ֆիզիկական բնութագրիչների ուժով առավել մեծ ազդեցություն են թողնում երկու շերտեր: Եթե շերտերը բաժանվում են իրենց էլեկտրամագնիսական բնութագրիչների (պարամետրերի) հիման վրա, ապա ալիքի տարածման վրա նշանակալի ազդեցություն է գործում իոնոսֆերան: Դրանք կազմված են արեգակնային քամուց իոնացված մասնիկներից, որոնք ազատված են էլեկտրոնների իոնացումից: Իոնների էլեկտրական դաշտը ազդում է էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման արագության վրա: Այս ազդեցության հետևանքը I<sub>o</sub> հեռավորության չափման սիստեմատիկ սխալն է, որը կոչվում է իոնոսֆերային անդրադարձում և առաջին բանաձևում համեմատական է իոնոսֆերայում E էլեկտրոնների խտությանը և հակադարձ համեմատական f ալիքի հաճախականությանը:

Իոնոսֆերայից ներքև տեղակայված չեզոք մթնոլորտի շերտը նույնպես ազդում է էլեկտրամագնիսական ալիքների անցման վրա: Այս շերտում պարունակվող ատոմները և մոլեկուլները էլեկտրականորեն չեզոք են, այսինքն մինչև 30 գձց հաճախականությունների համար այդ միջավայրը ցրող դեր չի կատարում: Սակայն դրանք ազդում են միջավայրի ցուցիչի վրա՝ փոքրացնելով արագությունը և կորացնելով ալիքի տարածման ուղին, ինչի հետևանքով ալիքը ուշանում է անօդ միջավայրում (վակուումում) կատարված հաշվարկների համեմատ:

Եթե ուսումնասիրենք չեզոք մթնոլորտը (մակերևույթից մինչև 70 կմ բարձրությամբ) իր ֆիզիկական բնութագրիչների տեսանկյունից (ջերմաստիճան, ճնշում, խոնավություն), ապա դրան համապատասխանում է տրոպոսֆերան և ստրատոսֆերայի որոշակի մասը:

Տրոպոսֆերա է կոչվում Երկրի մակերևույթին մոտ մթնոլորտային շերտը, որը բնութագրվում է ջերմաստիճանի համաչափ նվազեցմամբ: Հաջորդ շերտը տրոպոսֆերայից բաժանվում է տրոպոդադարով, որում ուղղաձիգ ջերմաստիճանային ցուցիչի արժեքը՝  $\beta = dT/dH$ , կտրուկ ընկնում է՝ հասնելով մինչև 0: Ստրատոսֆերայում ջերմաստիճանը մնում է գրեթե հաստատուն կամ բարձրության մեծացման հետ նույնիսկ աճում է:  $\beta$  արժեքը երբեմն անվանում են բարձրության հետ ջերմաստիճանի նվազեցման արագություն:

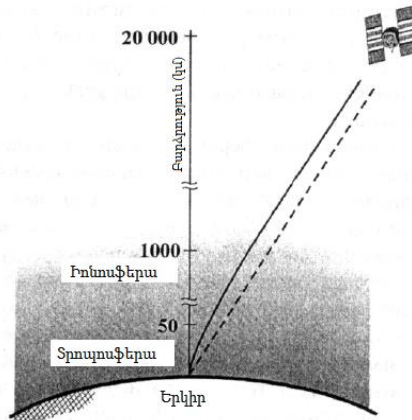
Գրականության մեջ ընդունված է խոսել ալիքների անցման վրա տրոպոսֆերայի ազդեցության մասին: Սակայն հարկավոր է հասկանալ, որ “տրոպոսֆերա” տերմինը ճիշտ կլիներ փոխարինել “չեզոք



մթնոլորտ” տերմինով: Հետագայում այս տերմինները կօգտագործվեն հավասար իմաստով՝ ելնելով էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածման վրա դրանց ազդեցության տեսանկյունից:

### 6.1.2 Ալիքների անդրադարձում, ռադիոալիքների տարածում և ցրող միջավայր

GPS ալիքը ենթարկվում է միջավայրի ազդեցությանը, որի միջով այն տարածվում է արբանյակից մինչև ընդունիչ: Անցած ճանապարհը գտնվում է 20000 կմ-ից (եթե արբանյակը գտնվում է զենիթում) 26000 կմ-ի (արբանյակի ծագման և մայրամուտի պահը) սահմաններում: Կարելի է համարել, որ ալիքների անցման ճանապարհի միայն 5%-ն է գտնվում անօդ տարածությունում, որում ալիքի արագությունը հաստատուն է և կազմում է  $c=299792458$  մ/վ, որը մեզ հայտնի է որպես հաստատուն մեծություն: Երկրի մակերևույթին մոտենալով (նկ. 6.2), մոտ 1000 կմ բարձրության վրա ալիքը, անցնելով լիցքավորված մասնիկների միջով, մուտք է գործում մթնոլորտ, որը կոչվում է իոնոսֆերա: Երկրագնդի մակերևույթին ավելի մոտ սահմաններում՝ 40 կմ բարձրության վրա, ալիքը բախվում է էլեկտրապես չեզոք գազային մթնոլորտին, որը կոչվում է տրոպոսֆերա:



Նկ. 6.2 Երկրի մթնոլորտում GPS ալիքի ռեֆրակցիայի ազդեցությունը

Երկրի մթնոլորտում GPS ալիքի ռեֆրակցիան բերում է ալիքի արագության և ուղղության փոփոխությանը: Նկարում ալիքի ուղու կորացումը պատկերված է մեծ կորով՝ տեսանելի լինելու համար:

Մթնոլորտը փոփոխում է միջավայրում ռադիոալիքների տարածման արագությունը: Այս երևույթը կոչվում է ռեֆրակցիա: Տարածման արագության փոփոխությունը հանգեցնում է ալիքի տարածման ժամանակահատվածի փոփոխությանը, որը GPS համակարգում չափումների հիմնական բաղկացուցիչն է: Համառոտակի ուսումնասիրենք ռեֆրակցիայի բնույթը և ռադիոալիքների տարածումը:

Միջավայրի կտրման ցուցիչը՝  $n$ -ը անօդ տարածությունում ալիքի տարածման արագության՝  $c$ , հարաբերությունն է տարածման արագությանը միջավայրում՝  $v$ .

$$n = \frac{c}{v} \quad (6.1)$$

Քանի որ տրոպոսֆերան և իոնոսֆերան իրենց կազմով միատարր չեն, ալիքի կտրման ցուցիչը իր անցման ճանապարհին փոփոխության է ենթարկվում: Կտրման ցուցիչի տարբեր արժեքներ ունեցող երկու միջավայրերի սահմանում ազդանշանի ճառագայթի շեղումն իրական ճանապարհից նկարագրվում է Սնելիուսի օրենքով: Համաձայն այս օրենքի՝

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2, \quad (6.2)$$

որտեղ՝  $n_1$  -ը կտրման ցուցիչն է առաջին միջավայրում,  $\theta_1$  -ն անկման անկյունն է (ընկնող ալիքի ուղղության և միջավայրերի միջև մակերևույթի նորմալի կազմած անկյունը),  $n_2$  -ը՝ երկրորդ միջավայրի կտրման ցուցիչն է,  $\theta_2$  -ն ձևափոխված ալիքի ուղղության և մակերևույթի նորմալի միջև կազմված անկյունը: Ճանապարհի շեղումը Ֆերմիի սկզբունքի ուղիղ հետևությունն է, ըստ որի բոլոր հնարավոր ճանապարհներից լույսը տարածվում է հնարավորինս ամենակարճ ճանապարհով: Այսպիսով, ալիքի արագության փոփոխությունը հանգեցնում է ալիքի տարածման ժամանակի փոփոխությանը, որն էլ իր հերթին հանգեցնում է մինչև արբանյակը եղած (չափվող) հեռավորության փոփոխությանը: Միջավայրում կտրման գործակցի փոփոխությունը հանգեցնում է ազդանշանի ճանապարհի կորացմանը՝ անցման

ճանապարհը դարձնելով ավելի երկար, քան երկրաչափական երկարությունն է (նկ.6.2):

Գիտենալով տարածման ճանապարհի երկայնքով կտրման ցուցիչի կտրվածքը  $S$  արբանյակից մինչև  $R$  ընդունիչի հատվածում, անցումային ժամանակը կունենա այս տեսքը՝

$$\tau = \frac{1}{c} \int_S^R n(s) ds,$$

(6.3)

որտեղ ինտեգրացումը կատարվում է ալիքի տարածման ճանապարհի երկայնքով, իսկ  $n(s)$ -ը ցույց է տալիս միջավայրի կտրման ցուցիչի փոփոխությունը: Ալիքի տարածման ուղացման բանաձևը կարելի է գրել հետևյալ տեսքով.

$$\tau = \frac{1}{c \int_S^R [n(s) - 1] ds}, \quad (6.4)$$

կամ

$$\Delta s = \int_S^R [n(s) - 1] ds: \quad (6.5)$$

Եթե միջավայրի կտրման ցուցիչը կախված է ալիքի հաճախականությունից, ապա միջավայրը կոչվում է ցրող: Հայտնի է, օրինակ, որ ապակե պրիզման տեսանելի լույսի համար հանդիսանում է ցրող:  $L$  դիսպերսիոնի ռադիոալիքների համար իոնոսֆերան հանդիսանում է ցրող, իսկ տրոպոսֆերան՝ չեզոք միջավայր: Իոնոսֆերայի և տրոպոսֆերայի միջով ալիքի անցման ժամանակի ուղացման չափը որոշելու համար հարկավոր է ճշտել կտրման ցուցիչը տարածման ճանապարհի ամբողջ երկայնքով [9]:

### 6.1.3 Ֆազային և խմբակային արագություն

$f$  հաճախականությամբ և  $\lambda$  ալիքի երկարությամբ էլեկտրամագնիսական ալիքի տարածման ֆազային արագությունը հավասար է

$$v_\phi = \lambda f \quad (6.6)$$

Այս արագությամբ են տարածվում GPS և GLONASS համակարգերի կրող ալիքների ֆազերը: Խմբակային ալիքների համար հաճախականությունները նշանակալիորեն տարբերվում են և խմբի տարածման արագությունը որոշվում է հետևյալ բանաձևով.

$$v_g = -\frac{df}{d\lambda} \lambda : \quad (6.7)$$

Խմբակային և ֆազային բանաձևերի միջև կապը կարելի է գտնել այդ բանաձևերը դիֆերենցելով՝

$$dv_\phi = f d\lambda + \lambda df, \quad (6.8)$$

որտեղից՝

$$\frac{df}{d\lambda} = \frac{1}{\lambda} \frac{dv_\phi}{d\lambda} - \frac{f}{\lambda} : \quad (6.9)$$

6.9 բանաձևը տեղադրելով 6.7 բանաձևի մեջ կստանանք՝

$$v_g = -\lambda \frac{dv_\phi}{d\lambda} + f\lambda = v_\phi - \lambda \frac{dv_\phi}{d\lambda} : \quad (6.10)$$

Միջավայրում ալիքի տարածման արագությունը կախված է միջավայրի կոտրման ցուցչից՝

$$v = c/n, \quad (6.11)$$

որտեղ  $c$  -ն լույսի արագությունն է անօդ տարածությունում: 6.11 բանաձևը օգտագործելով ֆազային և խմբակային արագությունների որոշման համար, ստանում ենք՝

$$v_\phi = \frac{c}{n_\phi}, \quad v_g = \frac{c}{n_g}, \quad (6.12)$$

որտեղ  $n_\phi$  և  $n_g$  - ն կոտրման համապատասխան գործակիցներն են: Դիֆերենցելով  $v_\phi$ , -ը  $\lambda$  կապի միջոցով և տեղադրելով այն 6.10 բանաձևում կարելի է ցույց տալ, որ՝

$$n_g = n_\phi + f \frac{dn_\phi}{df} : \quad (6.13)$$

Տրոպոսֆերայի համար ֆազային և խմբակային կոտրման ցուցիչները կախված չեն հաճախականությունից, այսինքն  $n_\phi = n_g$  :

## 6.2 Իոնոսֆերայի ազդեցությունը դիտարկումների պարամետրերի վրա

### 6.2.1 Իոնոսֆերային ուշացում

Իոնոսֆերան, որը տարածվում է Երկրի շուրջը 50 կմ-ից մինչև մոտավորապես 1000 կմ, իոնոսֆերային զազերի միջավայր է (ազատ էլեկտրոններ և իոններ): Իոնացումը ի հայտ է գալիս արեգակնային ճառագայթման հետևանքով և իոնոսֆերայի վիճակը հիմնականում որոշվում է արեգակնային ակտիվության ինտենսիվությունից: Իոնոսֆերան կազմված է մի քանի շերտերից, որոնք տեղակայված են տարբեր բարձրություններում (անվանենք այդ շերտերը D, E, F1 և F2) և յուրաքանչյուր շերտ ունի ազատ տարրերի ստեղծման և կորուստի սեփական արագությունը: Առավելագույն էլեկտրոնային խտության (էլեկտրոնների թիվը  $m^3$ ) գտնվում է 250–400 կմ սահմաններում (F2 շերտ):

Իոնոսֆերայի ֆիզիկական բնութագրերը մեծ փոփոխման են ենթարկվում ցերեկային և գիշերային ժամերին: Երբ ծագում է արեգակը, դրա ուլտրամանուշակագույն ճառագայթները սկսում են ազդել գազի (բարձր շերտերում  $H_2$ , He, ավելի ցածր շերտերում  $O_2$  և  $N_2$ ) իոնների և ազատ էլեկտրոնների վրա: Էլեկտրոնային խտության գագաթնակետը հասնում է կեսօրից 2 ժամ անց, այնուհետև խտությունը սկսում է նվազել: Գիշերը իոնացում տեղի չի ունենում և իոնները և էլեկտրոնները, հանդիպելով միմյանց, վերախմբավորվում են, նվազեցնելով ազատ էլեկտրոնների թիվը: Կարող են ի հայտ գալ նաև էական փոփոխություններ օրից օր անցման ժամանակ՝ կախված արեգակնային ակտիվությունից և երկրամագնիսական փոփոխությունից: Կան նաև անկանխատեսելի կարճաժամկետ ազդեցություններ և տեղային անոմալիաներ (չարժական իոնոսֆերային խախտումներ) [10]:

Իոնոսֆերայում ռադիոալիքի տարածման արագությունը կախված է ռադիոալիքի ճանապարհին տեղակայված ազատ էլեկտրոնների քանակից: Ընդունիչից արբանյակ ուղղության վրա  $1m^2$  մակերեսում պարունակվող էլեկտրոնների թիվը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$TEC = \int_S^R n_e(s) ds, \quad (6.14)$$

որտեղ  $n_e(s)$  –ը արևային տարածման ուղղության վրա էլեկտրոնների փոփոխական խտությունն է, իսկ ինտեգրացումը կատարվում է արևային տարածման երկայնքով՝  $S$  արբանյակից մինչև  $R$  ընդունիչը: Իոնոսֆերայի միջով ճանապարհի ամենակարճ երկարությունը դեպի գեոհորիզոնալ է և այդ պատճառով  $TEC$  –ը այդ ուղղության վրա ունի ամենափոքր արժեքը:

### 6.2.2 Ֆազային առաջընթաց և խմբակային ուշացում

Ինչպես արդեն նշվեց, իոնոսֆերայում գազը ռադիոալիքների համար ցրող միջավայր է: Կոտրման ֆազային ցուցիչը՝  $n_\phi$  -ը  $f$  հաճախականությամբ ռադիոալիքների համար հետևյալն է՝

$$n_\phi \approx 1 - \frac{40.3n_e}{f^2}, \quad (6.15)$$

որտեղ  $n_e$  -ն էլեկտրոնների խտությունն է: Կոտրման ցուցիչը չնչին չափով փոքր է մեկից ( $\approx 0.99998$   $L_1$  արևային համար) և GPS-ի ֆազային արագությունը իոնոսֆերայում բավականաչափ գերազանցում է լույսի արագությանը անօդ տարածությունում, ինչը թույլ չի տալիս կատարել ճշգրիտ տեղակայում: Կոտրման ցուցիչի բանաձևից կարելի է հաշվարկել  $I_\tau$  ֆազային ուշացումը (վայրկյաններով), որոնք ստացվում են, երբ արևային անցում է իոնոսֆերայով՝

$$I_\tau = \frac{1}{c} \int_S^R (n_\phi(s) - 1) ds = -\frac{1}{c} \int_S^R \frac{40.3n_e(s)}{f^2} ds = -\frac{40.3 \cdot TEC}{cf^2}: \quad (6.16)$$

Ֆազային ուշացումը բացասական է, ինչը նշանակում է, որ ռադիոալիքները ավելի քան ֆազային առաջընթաց:  $I_\tau$  ֆազային առաջընթացը (մետրերով) ուղիղ համեմատական է ճանապարհին ընկած էլեկտրոնների թվին՝

$$I_\phi = c \times I_\tau = \frac{40.3 \times TEC}{f^2}: \quad (6.17)$$

6.13 բանաձևից կարելի է հաշվարկել կոտրման խմբակային ցուցիչը՝

$$n_g = 1 + \frac{40.3 \times TEC}{f^2} : \quad (6.18)$$

Այս դեպքում իոնոսֆերային ուշացումը պակասեցնող ռադիոտարածության համար, որը չափագրվել է կողերով, հավասար կլինի՝

$$I_p = \frac{40.3 \times TEC}{f^2} : \quad (6.19)$$

Ֆազային առաջընթացի մեծությունը հաճախ արտահայտվում է պարբերաշրջաններով: Քանի որ  $\lambda = c / f$ , այսինքն՝

$$I_\phi = -\frac{40.3 \times TEC}{cf}, \quad (6.20)$$

6.17 և 6.19 բանաձևերը իոնոսֆերային ուշացումը տալիս են մետրերով, երբ  $f$  –ը տրվում է հերցերով, իսկ TEC–ն՝ էլեկտրոն/մ<sup>2</sup>: Հետագայում խմբակային իոնոսֆերային ուշացումը կնշանակվի  $I$ , իսկ ֆազայինը՝ –  $I_\phi$ :

Աղյուսակ 6.1-ում բերված են իոնոսֆերային ուշացումները մի քանի հաճախականությունների և TEC-ի 2 արժեքների համար: Նկատելի է, որ L1 և L2 հաճախականությունների վրա իոնոսֆերան ունի մեծ ազդեցություն: TEC մեծությունը սովորաբար տատանվում է  $10^{16}$ -ից մինչև  $10^{18}$  սահմաններում:

### Հեռավորության իոնոսֆերային ճշտումները

Աղյուսակ 6.1

Հաճախականություն	TEC= $10^{16}$ (էլ/մ <sup>2</sup> )	TEC= $10^{18}$ (էլ/մ <sup>2</sup> )
100 ՄՀց	40.000	4000.0
400 ՄՀց	2.500	250.0
$f_{L1}$	0.260	26.0
$f_{L2}$	0.160	16.0
2 ԳՀց	0.100	10.0
10 ԳՀց	0.004	0.4

### 6.2.3 Իոնոսֆերայի մոդելները

6.17, 6.19 և 6.20 բանաձևերից բխում է, որ պսևոդիոնոսֆերայի մոդելների և կրող ֆազերի չափումների մեջ ճշտություններ մտցնելու համար անհրաժեշտ է բավականին մեծ ճշտությամբ իմանալ TEC պարամետրը՝ ռադիոալիքի ուղղությամբ ամբողջական էլեկտրոնային կոնցենտրացիան: Մշակված են չափման պարամետրերի վրա իոնոսֆերայի ազդեցության հաշվարկման կամ ազդեցության նվազման մի քանի եղանակներ, որոնք կիրառվում են կամ չափումների հիման վրա, կամ մոդելավորման ճանապարհով: Սրա հետ մեկտեղ օգտագործվում են ինչպես հաճախականությունից կախված իոնոսֆերային ուշացումները, այնպես էլ դրանց տարբեր ազդեցությունները ֆազային և կողային չափումների վրա: Մխալների այլ աղբյուրների բացակայության դեպքում  $A$  ընդունիչի կողմից մինչև  $I$  արբանյակը եղած պսևոդիոնոսֆերայի չափումը երկրաչափական  $L_{\text{eff}}$  հեռավորության հետ կապված է հետևյալ բանաձևով՝

$$P_A^i = \rho_A^i + c(dt_A - dt^i) + I_A^i + T_A^i + e_p : \quad (6.21)$$

Այսպիսով, կրող ֆազի չափումը, որը ներկայացված է գծային տեսքով, կապված է երկրաչափական հեռավորության հետ նմանօրինակ բանաձևով՝

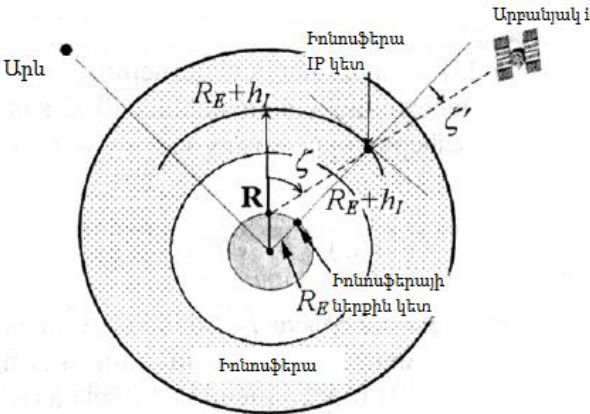
$$\Phi_A^i = \rho_A^i + c(dt_A - dt^i) - I_A^i + T_A^i + \lambda N_A^i + \varepsilon_\phi, \quad (6.22)$$

որտեղ  $\rho_A^i$ - ֆազի սկզբնական ոչ միակությունն է,  $dt_A$ ,  $dt^i$  - ընդունիչի և արբանյակի ժամային ճշտումներն են,  $T_A^i$  -ն տրոպոսֆերային ուշացումն է,  $e_p$ -ն և  $\varepsilon_\phi$  -ն պսևոդիոնոսֆերայի և ֆազի չափումների աղմուկներն են:

**Իոնոսֆերայի ճշգրիտ մոդել:** Երկրաչափական մոդելավորումը հեշտացնելու համար իոնոսֆերան կարելի է դիտարկել որպես Երկիրը շրջապատող բարակ միջավայր (նկ.6.3): Ալիքի ճանապարհի երկարությունը փոփոխվում է կախված արբանյակի տեղադիրքից՝ ինչքան ցածր է արբանյակը, այնքան երկար է անցման ճանապարհը և մեծ TEC-ը: Ընդունելով, որ էլեկտրոնների կողային տարրերը բացակայում են, կարելի է որոշել TEC-ի (ուղղաձիգ TEC՝ TECV) պարզ և



համառոտ բնութագիրը և բազմապատկել այն ալիքի ճանապարհի երկարացված մեծությամբ [7]: Այս արտադրյալը անվանվում է թեքման գործոն՝ OF: S արբանյակի դիրքը R ընդունիչի նկատմամբ ցույց տաու համար ներմուծենք այսպես կոչված զենիթային հեռավորության  $\zeta$  հասկացությունը:



Նկ. 6.3 Ռադիոալիքի անցումը իոնոսֆերայով

Իոնոսֆերային շերտի միջին բարձրությունը կամ միջին իոնոսֆերային բարձրությունը՝  $h_I$ , հիմնականում վերցվում է 300-400 կմ սահմաններում: Իոնոսֆերային երիկամ՝ IP է կոչվում դիտասևեռման առանցքի և գնդաձև մակերևույթի հատման կետը  $h_I$  բարձրությունում: Դ-րա պրոյեկցիան շառավիղ-վեկտորի ուղղությամբ Երկրի մակերևույթի վրա անվանվում է իոնոսֆերայի ստորին կետ: Այժմ կարելի է TECV-ն կապել TEC-ի հետ զենիթային  $\zeta$  հեռավորության վրա՝

$$TEC(\zeta) = \frac{1}{\cos \zeta'} \times TECV, \quad (6.23)$$

որտեղ  $\zeta$  և  $\zeta'$  արբանյակի զենիթային հեռավորություններն են համապատասխանաբար օգտագործողի դիրքից և իոնոսֆերային IP կետից:  $(\cos \zeta')^{-1}$  որոշում է թեքման գործոնը, որը կարելի է սահմանել արբանյակի զենիթային հեռավորությունից, երբ դիտարկողը տեղակայված է հետևյալ դիրքով՝ եռանկյունուց, որը կազմվում է Երկիր

կենտրոնով, R ընդունիչով և իոնոսֆերային IP կետով սինուսների թեորեմից ունենում ենք հետևյալ բանաձևը՝

$$\frac{\sin \zeta}{R_E + h_1} = \frac{\sin \zeta'}{R_E}, \quad (6.24)$$

որտեղ  $R_E$  - Երկրի միջին շառավիղն է և հավասար է 6371 կմ: Այստեղից ստացվում է թեքման իոնոսֆերային  $OF_1$  գործոնը  $\zeta$  զենիթային հեռավորության համար:

$$OF_1(\zeta) = \left[ 1 - \left( \frac{R_E \sin \zeta}{R_E + h_1} \right)^2 \right]^{-1/2} : \quad (6.25)$$

$OF_1$  մեծությունը գտնվում է մեկից (զենիթի ուղղության համար) երեքի սահմաններում, երբ թեքման անկյունը  $5^0$  է: (6.23) բանաձևը կարելի է (6.17) և (6.19) բանաձևերին համապատասխան փոփոխել GNSS ալիքների խմբակային ուշացման և ֆազային առաջընթացի որոշման համար: Իոնոսֆերային ուշացումը դիտելով որպես զենիթային հեռավորության ֆունկցիա  $I(\zeta)$ , կունենանք՝

$$I(\zeta) = I_Z \times OF_1(\zeta): \quad (6.26)$$

$I(\zeta)$  իոնոսֆերային զենիթային ուշացումը զենիթային ուղղության անցումային ուշացումն է, որը միջին լայնություններում փոփոխվում է մոտավորապես 1-3 մ-ի սահմաններում՝ զիշերը, 5-15 մ-ի սահմաններում՝ կեսօրին: Արեգակնային ակտիվության գագաթնակետում հասարակածում նկատվում է մինչև 36 մ ուշացում: Հետևաբար  $I(\zeta)$  և  $I_Z$  մեծությունները պետք է վերաբերեն միևնույն ժամանակին, այսինքն դիտարկման  $t$  պահին:

**Իոնոսֆերային հարթ մոդել:** Իոնոսֆերան ներկայացվում է նաև որպես հարթ մակերևույթ, որտեղ հաշվի չի առնվում Երկրի կորությունը և ազատ էլեկտրոնները բաշխված են մակերևույթում հավասարաչափ: Նման հասարակ մոդելի համար ուղղաձիգ խմբակային ուշացումը ներկայացվում է այսպես՝

$$I_A^i = \frac{I_Z}{\cos \zeta_A^i} = \frac{I_Z}{\sinh^i_A}: \quad (6.27)$$

Հ նշանակված է  $i$  արբանյակի զենիթային հեռավորությունը  $R$  ընդունիչից: Այս մոդելում ուղղաձիգ խմբակային ուշացումը համարվում է հաստատուն և անկախ է արբանյակի ազիմուտից: Ջենիթային հեռավորության փոխարեն կարելի է օգտագործել կայանի հորիզոնից մինչև արբանյակը եղած հեռավորությունը  $h'_A = 90^\circ - \zeta'_A$ : Միացնելով (6.21) և (6.22) բանաձևերը կստանանք՝

$$P_A^i - \Phi_A^i = 2I_A^i \frac{1}{\sinh^i A} - \lambda N_A^i : \quad (6.28)$$

Ծայրահեղ դեպքում ուղղաձիգ խմբակային ուշացումը և ոչ միակությունը կարելի է որոշել ծածկագրային և ֆազային չափումների շարքով: Իրականում արբանյակի սարքավորումներում և ընդունիչում ցանկացած ուշացում կմտնի ոչ միակության գումարի մեջ այնքանով, որքանով այդ ուշացումները մնում են հաստատուն:

**Օրական կոսինուսային մոդել:** Որոշակի չափով բարելավված մոդել է համարվում այս մոդելը, որում հաշվի են առնված Երկրի պտույտը և արեգակի օրական շարժումը ընդունիչի հանդեպ: Օրինակ՝

$$I_Z(t) = I_{Z,\max} \cos(t_{Sun} - 2^h) : \quad (6.29)$$

$I_{Z,\max}$  նշանով նշանակվում է առավելագույն ուղղաձիգ ուշացումը, որը տեղի է ունենում տեղական ժամանակով 14:00-ի սահմաններում: (6.29) բանաձևը կարելի է տեղադրել (6.28) բանաձևում:

**Երկհաճախական չափումներում ուշացման գնահատում:** Այն օգտագործողը, ով ունի երկհաճախական սարքավորում, կարող է գնահատել իոնոսֆերային խմբակային ուշացումը և չափումներում ֆազային առաջանցումը և զգալիորեն նվազեցնել իոնոսֆերայի ազդեցությունը չափումների վրա: Պսևդոհեռավորության չափման բանաձև (6.21) ներմուծելով L1 կամ L2-ի չափման ստորին ինդեքսը՝

$$P_q = \rho + c[dt_A - dt^i] + I_q + T + e_{\rho_q}, \quad (6.30)$$

որտեղ  $g=H$  կամ  $L2$ : Միավորելով իոնոսֆերային ազդեցության հետ չկապված անդամները՝ հաճախականություններից կախված վերը նշված հավասարումը կարելի է ներկայացնել հետևյալ տեսքով՝

$$P_q = P^* + \frac{A}{f_q^2}, \quad (6.31)$$

որտեղ  $P^*$ -ը երկրային ազդեցությունից չկախված պսևդոհեռավորությունն է, այսինքն պսևդոհեռավորության չափումն է իոնոսֆերայի բացակայության դեպքում,  $A=40.3xTEC$ -ն անհայտ մեծություն է: Երկհաճախական չափումներով կարելի է որոշել  $P^*$  և  $A$ -ն: Օրինակ  $L1$ -ի վրա իոնոսֆերային խմբակային ուշացումը հավասար է.

$$I_{L1} = \frac{A}{f_{L1}^2} = \left( \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \right) (P_{L2} - P_{L1}), \quad (6.32)$$

որտեղ  $P_{L1}P_{L2}$ -ը պսևդոհեռավորության չափումն է  $L1$ -ի և  $L2$ -ի վրա,  $f_{L1}$  և  $f_{L2}$ -ը համապատասխան կրող հաճախականություններն են, իսկ իոնոսֆերայի ազդեցությունից ազատ պսևդոհեռավորությունը հավասար է.

$$P^* = \left( \frac{f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \right) P_{L1} - \left( \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} \right) P_{L2} = 2.546P_{L1} - 1.546P_{L2} : \quad (6.33)$$

Իոնոսֆերայից ազատ պսևդոհեռավորության նկատմամբ կա երկու նկատառում: Առաջինը՝ այս չափումներում ինչպես  $P_{L1}$ -ում, այնպես էլ  $P_{L2}$ -ում ամբողջովին բացակայում են արբանյակների ժամային, էֆեմերիդային և տրոպոսֆերային սխալները: Երկրորդը՝ իոնոսֆերային տվյալների բացթողումը ի հայտ է բերում նոր սխալներ՝ այսպիսի պսևդոհեռավորությունը ավելի աղմկոտ է, քան  $L1$ -ի և  $L2$ -ի չափվածը:

Կողային չափումներով իոնոսֆերային ուշացումների գնահատումը թեև չի պարունակում երկիմաստություն, սակայն բավականին կոպիտ է:

**NAVSTAR նավիգացիոն հաղորդագրության իոնոսֆերային մոդելը:** Որպեսզի առանձին ընդունիչը կատարի տեղակայում (նավիգացիոն և գեոդեզիական չափումների) իրական ժամանակում և հաշվարկի  $L1$  հաճախականության վրա գեոիթային ժամային ուշացումը, հաճախ օգտագործվում է «Կլոբուչարի մոդելը»: Ալգորիթմը

հենվում է գիշերային ժամերին իոնոսֆերային ուշացումների հաստատունության և օրվա ժամերին այդ ուշացումների կոսինուսային պատկերման վրա (նկ.6.4): Տեղական  $t$  ժամին զենիթային իոնոսֆերային ուշացումների գնահատումը տրվում է՝

$$\frac{I_z}{c} = \left\{ A_1 + A_2 \cos\left(\frac{2\pi(t - A_3)}{A_4}\right) \right\} \text{կամ } |t - A_3| < A_4 / 4, \quad (6.34)$$

որտեղ  $A_1$ -ը գիշերային ժամերին զենիթային ուշացումների արժեքն է,  $A_2$ -ը ցերեկային ժամերին կոսինուսի ֆունկցիայի ամպլիտուդն է,  $A_3$ -ը կոսինուսի ֆունկցիայի գագաթնակետին համապատասխանող ֆազը,  $A_4$ -ը կոսինուսի ֆունկցիայի ժամանակաշրջանն է:

$A_2$  և  $A_4$  պարամետրերի արժեքները տրվում են նավիգացիոն հաղորդագրությամբ, որը ուղարկվում է արբանյակից՝

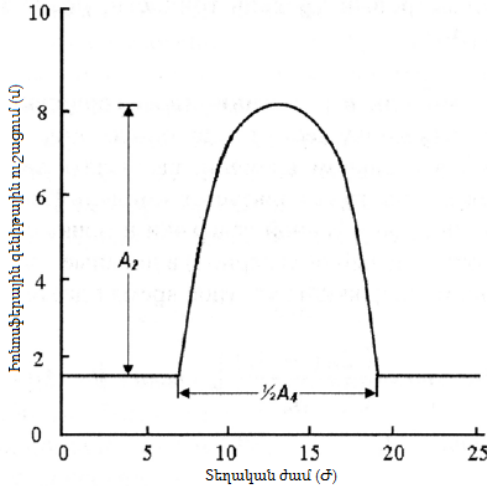
$$A_2 = \sum_{i=0}^3 i_{-1} \cdot \Phi_m^{i-1}, \quad (6.35)$$

$$A_4 = \sum_{i=0}^3 i_{-1} \cdot \Phi_m^{i-1}, \quad (6.36)$$

որտեղ  $\Phi_m$  -ը իոնոսֆերայի ստորին կետի երկրամագնիսական լայնությունն է (նկար 6.3)՝ արտահայտված կիսափուլով.

$$\Phi_m = \Phi_j + 0.064 \cdot \cos(\lambda_j - 1.617), \quad (6.37)$$

որտեղ  $\Phi_j$  և  $\lambda_j$  -ն օգտագործողի լայնությունն և երկայնությունն են կիսափուլերով:  $\alpha$  -ն հավասարման գործակիցն է ուղղաձիգ ուշացման մեծության տրման համար, իսկ  $\beta$  -ն հավասարման գործակիցն է, որը արտահայտում է իոնոսֆերային մոդելի փուլը:



*Նկ. 6.4 Կլորուցարի մոդելում օրվա ընթացքում իոնոսֆերային ուղացման չափումը*

Օգտագործողը կատարում է հաշվարկները հետևյալ հաջորդականությամբ.

1. գիտենալով իր լայնությունը և երկայնությունը (մոտավորապես), ինչպես նաև արբանյակի դիրքը տարածության մեջ, օգտագործողը հաշվարկում է բարձրությունը և դեպի արբանյակ դիտասևեռման գծի ազիմուտը:

2. ընդունելով իոնոսֆերայի միջին բարձրությունը 350կմ, օգտագործողը հաշվարկում է դիտասևեռման գծի և իոնոսֆերայի հասման կետի լայնությունն և երկայնությունը (իոնոսֆերայի ներքին կետ):

3. Այնուհետև հաշվարկվում է այդ նույն կետի երկրամագնիսական լայնությունը: Ունենալով այդ կետի երկրաբանական լայնությունն և երկայնությունը՝ հաշվարկվում է կետի և հյուսիսային գեոմագնիսական բևեռի կազմած անկյունը՝  $90^0$ -ից հանելով այդ անկյան չափը, կատանանք գեոմագնիսական լայնությունը: Գեոմագնիսական լայնությունը մնան է սովորական լայնությունը, այն բացառությամբ, որ երկրաբանական բևեռը փոխարինվում է գեոմագնիսական բևեռով:

4. Տիրապետելով վերը թվարկված տեղեկությանը՝ օգտագործողը հաշվարկում է ալիքի ուղղաձիգ ուղացումը (6.35) բանաձևով:

Ի վերջո, այդ ուշացումը կարելի է մեծացնել թեքման գործոնով, այսինքն դեպի արբանյակը եղած անկյունով: Իոնոսֆերային 8 գործակիցները, որոնք ստացվում են արբանյակից, ընտրվում են 370 խմբերից, յուրաքանչյուրից 8-ական: Այդ պարամետրերը հանդիսանում են եղանակային փոփոխությունների և արեգակնային ակտիվության ֆունկցիա: Պարամետրերի այս համախմբի ընտրությունը և ուղարկումը դեպի արբանյակ կատարվում է Կոլորադոյում տեղակայված կառավարման կենտրոնում:

Արբանյակի համար թեքման գործակիցը արտահայտվում է հորիզոնի նկատմամբ արբանյակի բարձրությամբ՝  $h$ -ով:

$$OF_1(h) = 1.0 + 16.0 \times (0.53 - h)^3 \quad (6.38)$$

### 6.3 Տրոպոսֆերայի ազդեցությունը դիտարկումների պարամետրերի վրա

#### 6.3.1 Էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածումը տրոպոսֆերայում

Չեզոք մթնոլորտը հանդիսանում է չցրող միջավայր: Գրա ազդեցության մասին խոսում են որպես տրոպոսֆերային անդրադարձում, որը կախված չէ հաճախականությունից և հետևաբար, կողային մոդուլյացիայի և կրող ֆազի վրա ազդում է միատեսակ: Արբանյակի և ընդունիչի միջև եղած հեռավորության չափումը տևում է ավելի երկար, քան իրականում: Ուշացումը կախված է ընդունիչի բարձրությունից և ալիքի տարածման տեղանքի տեսակից, փոփոխվող ջերմաստիճանից, խոնավությունից և ճնշումից: Քանի որ տրոպոսֆերային ուշացումը կախված չէ կրող հաճախականությունից, այն հնարավոր չէ չեզոքացնել երկհաճախական ընդունիչներում:

$N$  կատարման ցուցիչը հարմար է հաշվարկել կոտրման ցուցչի ինդեքսի՝  $n$  օգնությամբ՝  $N = (n - 1) \times 10^{-6}$ : Իոնոսֆերային անդրադարձման (6.16) նման, տրոպոսֆերային ուշացումը տրվում է որպես՝

$$T_R^S = \int_R^S cN dt \quad (6.39)$$

Էլեկտրամագնիսական ալիքների համար GNSS-ում օգտագործվող օդի կտորման ցուցիչը կախված է մթնոլորտի վիճակից, այսինքն օդի ջերմաստիճանից՝  $T$ , ճնշումից՝  $P$  և խոնավությունից՝  $e$ :

$$N = f(T_1 P_1 e) \quad (6.40)$$

Կտորման ցուցիչը հանդիսանում է այն տարածության կետերի բաշխման ֆունկցիա, որով անցնում է ալիքը, քանի որ օդերևութաբանական տվյալները միայն պայմանականորեն են համարվում կանոնավոր: Այն միատարր չէ, առավել ևս՝ Երկրի մակերևույթին մոտ տարածքներում: Այդ պատճառով անցողու հաշվարկի համար հարկավոր է իմանալ ճանապարհի երկայնքով իրական կտորման ցուցիչը:

Կտորման իրական միջին  $n$  ցուցիչը հաշվարկվում է հետևյալ բանաձևով՝

$$N = \frac{1}{S} \int_{x=0}^{x=s} N(x) dx \quad (6.41)$$

Այս հավասարումը ենթադրում է, որ  $N(x)$  ֆունկցիան  $x$  ճանապարհից հայտնի է: Այն կարող է ստացվել մթնոլորտի մասին հավաստի տվյալներից կամ անմիջական չափումներից:

#### 6.4 Բազմուղիության բնույթը և հասարակ մոդելներ

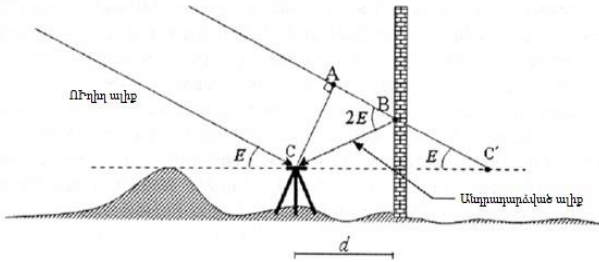
Բազմուղիությունը սխալների հիմնական աղբյուրն է GNSS տեղակայման ժամանակ (հանդիպում է նաև «բազմաճառագայթայնություն» տերմինը): Արբանյակների ալիքները կարող են հասնել ընդունիչին տարբեր ճանապարհներով, որոնք առաջանում են անդրադարձումներից (նկ. 6.5): Բազմուղիությունը խանգարում է  $C/A$  և  $P$  կոդերի մոդուլյացիային և կրող ֆազի դիտարկումներին: Թեև բազմուղի ճառագայթներն ունեն արբանյակից հեռարձակվելու միևնույն ժամանակը, դրանք ընդունիչ են հասնում ձևափոխված կողով և ֆազով, քանի որ տարբերվում են դրանց ճանապարհների երկարությունները: Այսինքն, բազմուղիությունից շեղվողները միշտ ուշանում են ուղիղ հասնող ալիքների համեմատ, քանի որ անդրադարձման պատճառով անցնում են ավելի երկար ճանապարհի [5]:

Քանի որ GPS արբանյակների և ընդունիչի տեղադիրքի միջև երկրաչափական դասավորությունը կրկնվում է ամեն աստղային օր,



բազմուղիությունը այդ նույն պահերին ունենում է միևնույն արժեքը: Այս կրկնությունները կարող են լինել օգտակար բազմուղիության առկայության հարցում համոզվելու համար: Ալիքների բազմուղիության ազդեցությունը պակասեցնելու կամ կրող ֆազի վրա կախված է մի շարք գործոններից, օրինակ, անդրադարձված ալիքի հզորությունից և ուղիղ ալիքի համեմատ ուշացումից, ալեհավաքի մարման բնութագրիչներից, չափման տեխնիկայի կատարելությունից և ընդունիչում ալիքների մշակումից:

Ալիքները կարող են անդրադարձվել արբանյակից (արբանյակային բազմուղիություն) կամ ընդունիչի շրջապատից (ընդունիչի բազմուղիություն): Արբանյակային բազմուղիությունը բացառվում է կարճ բազային գծերում: Անդրադարձված ալիքը միշտ ավելի թույլ է, քանի որ անդրադարձման վրա կորցնում է էներգիա: Այդ մարումը կախված է անդրադարձնող առարկայի նյութից, անկման անկյունից և բևեռացումից: Անկման փոքր անկյունների դեպքում ալիքը գրեթե մարում չի ունենում:



*Նկ. 6.5 Հարթ ուղղաձիգ հարթությունում անդրադարձման երկրաչափությունը*

Ընդունիչի համար անդրադարձնող մակերևույթներ կարող են լինել շենքերը և այլն: Բազմուղիությունը ի հայտ է գալիս Երկրի մակերևույթից, առավել ևս հարթ մակերևույթներից, ինչպիսիք են ասֆալտի ծածկույթը, ջրային հայելին, ձյան հարթ շերտը: Համեմատաբար քիչ ազդեցություն է թողնում խոտապատ ծածկույթը: Շենքերի տանիքները վատ միջավայր են ընդունիչի համար, քանի որ շենքերը

հաճախ ունենում են ուռուցիկ մասեր, խողովակներ և ալեհավաքին մոտ ուրիշ անդրադարձնող մակերևույթներ: Վատ անդրադարձիչներ չեն նաև ծառերը, հատկապես թաց տերևներով: Շարժական ալեհավաքի համար կլինեմատիկ ռեժիմում բազմուղիության ազդեցությունը արագ փոփոխվում է, քանի որ անընդհատ փոխվում է ալեհավաքի դիրքը անդրադարձնող մակերևույթների նկատմամբ: Ինքնաթիռային ընդունիչները ենթարկվում են բազմուղիության ազդեցությանը ինքնաթիռի թևերի պատճառով: Ուժեղ անդրադարձնող մակերևույթները ալիքների շրջանային աջակողմյան բևեռացումը փոխարինում են ձախակողմյանի:

Քանի որ բազմուղիության հիմնական մասը գալիս է հորիզոնին մոտ ուղղություններից, բազմուղիությունը հնարավոր է կտրուկ նվազեցնել և վերջնական արդյունքում գրաֆիկից կտրել և վերցնել առավել լավ աշխատող ուղղությունները: Նման ալեհավաքները կարող են երկրային ընդունիչների համար լինել բավականին արդյունավետ, սակայն կարող են խնդիրներ առաջացնել ինքնաթիռների ընդունիչների համար: Ինքնաթիռի ալեհավաքները պետք է ընդունեն արբանյակի ալիքները բարձր դիսանիկայի դեպքում, օրինակ, հարկավոր է խուսափել կապի կորստից, երբ ինքնաթիռը գտնվում է կողաթեքման դիրքում: Կախված օգտագործվող ալեհավաքի տեսակից, հնարավոր է, որ պահանջվի անդրադարձիչ: Ալեհավաքից ցածր գտնվող մակերևույթից եկող էներգիան ալեհավաք է հասնում հողանցման հարթության ծայրամասերի դիֆրակցիայի հետևանքով: Անդրադարձիչը հիմնականում իրենից ներկայացնում է մետաղական մակերևույթ՝ կտրկամ ուղղանկյան տեսքով: Բազմուղիության դեմ առավել լավ պայքարում են այսպես կոչված choke ring ալեհավաքները:

Բազմուղիության ազդեցությունը Կրող ֆազի վրա կարելի է բացատրել պարզ օրինակով (նկ.6.5):

Ենթադրենք, ուղիղ և անդրադարձված ալիքները ներկայացված են, որպես.

$$\begin{aligned} A_d &= A \cos \Phi_d \\ A_r &= \alpha A \cos(\Phi_r + \Delta \Phi) \end{aligned} \quad (6.42)$$

որտեղ  $A_d$ -ն ուղիղ ալիքի ամպլիտուդն է,  $A_r$ -ը անդրադարձած ալիքի ամպլիտուդն է,  $\alpha$ -ն մարման գործակիցն է.  $0 \leq \alpha \leq 1$ , (0-չկա անդրադարձում, 1-անդրադարձված ալիքն ունի միևնույն ուժը, ինչ ուղիղ

ալիքը),  $\Phi_d$  -ն ուղիղ ալիքի ֆազն է,  $\Delta\Phi$  -ը անդրադարձված ալիքի ֆազային տեղաշարժն է ուղիղ ալիքի նկատմամբ:

Ալեհավաք եկող բարդ ազդանշանը իրենից ներկայացնում է երկու ալիքների սուպերպոզիցիա.

$$A_{\Sigma} = A_d + A_r = A \cos \Phi_d + \alpha A \cos(\Phi_d + \Delta\Phi) = \beta A \cos(\Phi_d + \theta): \quad (6.43)$$

Ուղիղ և անդրադարձված ալիքների առավելագույն ամպլիտուդի դեպքում  $A_{d\max} = A$  և  $A_{r\max} = \alpha A$ , բազմուղիության հետևանքով կրող ֆազի ուշացումը հավասար է.

$$\theta = \arctg\left(\frac{\sin \Phi}{\alpha^{-1} + \cos \Phi}\right): \quad (6.44)$$

Այս ալիքի ամպլիտուդն արտահայտվում է հետևյալ բանաձևով.

$$B = \beta A = A\sqrt{1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos \Phi} \quad (6.45)$$

Բազմուղիության պատճառով ուշացումը (նկ.6.5) իրենից ներկայացնում է AB և BC հեռավորությունների գումարը: Այս ուշացումը արտահայտվում է ալեհավաքի և անդրադարձիչի միջև  $d$  հեռավորությամբ, արբանյակի  $E$  բարձրությամբ (հորիզոնի նկատմամբ), որը տրված է ռադիաններով և ունի հետևյալ տեսքը՝

$$\Delta\phi = \frac{4\pi d}{\lambda} \cos E: \quad (6.46)$$

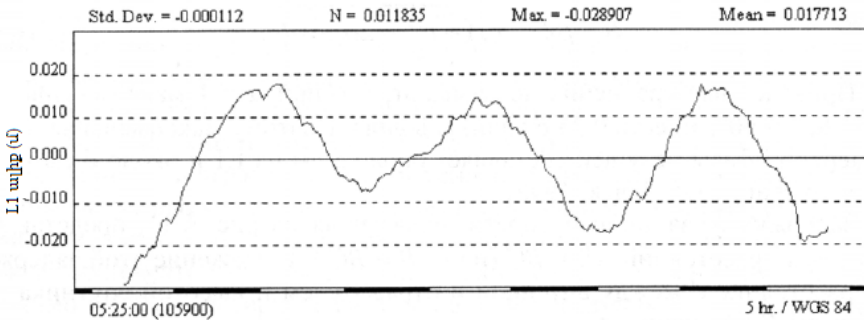
Երբ փոխվում է արբանյակի և ընդունիչի փոխդասավորությունը, բազմուղիության ազդեցությունը ևս փոխվում է:  $f$  հաճախականության  $Q$  բազմուղիության սխալը, ինչպես երևում է (6.6) բանաձևից, ճիշտ այնպիսին է, ինչպիսին ֆազային հաճախականության ուշացումը՝  $\Delta\phi$ , այսինքն  $f_{\theta} = f_{\Delta\phi}$ : Դիֆերենցելով ըստ ժամանակի (6.46) բանաձևը, ստացվում է բազմուղիության սխալի հաճախականությունը այս տեսքով.

$$f_{\theta} = f_{\Delta\phi} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{d\Delta\phi}{dt} = \frac{2d}{\lambda} \sin E \left| \frac{dE}{dt} \right|: \quad (6.47)$$

Այստեղ  $E$ -ն արտահայտում է արբանյակի հորիզոնի նկատմամբ բարձրության փոփոխության վայրկյանային անկյունային արագությանը: Տեսանելի է, որ բազմուղիության հաճախականությունը համեմատական է ալեհավաքից մինչև անդրադարձիչ եղած

հեռավորությանը , հակադարձ համեմատական է ալիքի երկարությանը և հանդիսանում է արբանյակի բարձրության անկյան ֆունկցիա: Քանի որ արբանյակը միշտ շարժվում է, բազմուղիության հաճախականությանը հանդիսանում է ժամանակի ֆունկցիա: Երբ  $d=10$  մ ,  $E=45^\circ$  և  $E = 0.07$  մռաղ/վ, բազմուղիության սխալը հավասար է լինում մինչև 50 բոլայեի: Բազմուղիության սխալը հիմնականում միջինացվում է մի քանի բոլայեի՝ մինչև քառորդ ժամի սահմաններում: Այդ պատճառով GPS/ГЛОНАСС համակարգերում ստատիկ ռեժիմում չափումները տալիս են ավելի ճշգրիտ և վստահելի տվյալներ, քան շարժվող ընդունիչով չափումների ժամանակ:

Ֆազի բազմուղիությունը լավ տեսանելի է բազային գծերի մնացորդային անկապքներում, որոնք ունեն սինուսիդի բնույթ (նկ. 6.6):



*Նկ. 6.6 Ֆազի չափման անկապքների բազմուղիության ազդեցության սինուսիդալ բնույթը*

## 7. ԿՈՌԴԻՆԱՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ

GNSS համակարգերի օգտագործման հիմնական խնդիրը բխում է նրանից, որ ամբողջ աշխարհում օգտագործվում են տարբեր կոորդինատային համակարգեր: Արդյունքում ստացվում է այնպես, որ չափված և հաշվարկված կոորդինատները միշտ չէ, որ համընկնում են:

Որպեսզի հասկանանք, թե ինչպես է գործում GNSS համակարգը, հարկավոր է ուսումնասիրել գեոդեզիայի մի քանի բազային դրույթներ, որոնք կապված են Երկրի մակերևույթի չափման և քարտեզագրման հետ: Առանց այդ բազային գիտելիքների դժվար կլինի հասկանալ, թե ինչպես կարելի է մի համակարգը կապել մյուսին և ընտրել ճիշտ կոորդինատային համակարգ:

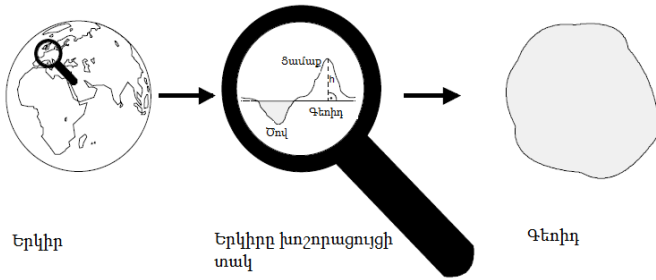
1. ինչ է գեոիդը,
2. ինչու է Երկիրը պատկերվում որպես էլիպս,
3. ինչու են աշխարհում օգտագործվում ավելի քան 200 կոորդինատային համակարգեր,
4. ինչ համակարգ է WGS-84-ը,
5. ինչպես կարելի է մի կոորդինատային համակարգից անցում կատարել մեկ ուրիշի,
6. ինչ են իրենցից ներկայացնում Գաուս-Կրյուգերի և UTM պրոյեկցիոն համակարգերը և այլն:

Վերը թվարկված հարցերը ուսումնասիրենք ստորև:

### 7.1 Երկրի ձևը

**Գեոիդ:** Մենք գիտենք, որ Երկիրը կլոր է, սակայն արդյո՞ք դա իրականում այդպես է: Մեր կապույտ մոլորակի ձևի նկարագրությունը միշտ եղել է ոչ ճշգրիտ գիտություն: Դարերի ընթացքում երկրագնդի իրական տեսքը ցույց տալու համար ստեղծվել են զանազան մոդելներ: Գեոիդը երկրագնդի պատկերման լավագույն մոդելն է:

Որպես երկրագնդի երկրաչափական մակերևույթ ընդունվում է ծովի միջին մակարդակի հարթ մակերևույթը: Այդ մակերևույթի ձևը բնութագրվում է որպես գեոիդ (նկ. 7.1):



*Նկ. 7.1 Գետիկը՝ Երկիր մոտավոր մակերևույթ*

**Էլիպսոիդ:** Հաշվարկների իրականացման համար գետիկը հանդիսանում է բավականին բարդ մակերևույթ, ուստի անհարժեշտ է ավելի պարզը, ինչպիսին էլիպսոիդն է [3]:

Ինչպես հայտնի է էլիպսոիդները տրվում են երկու պարամետրերով՝

1. մեծ կիսաառանցք (հասարակածի ուղղությամբ),
2. փոքր կիսաառանցք (հյուսիս-հարավ ուղղությամբ):

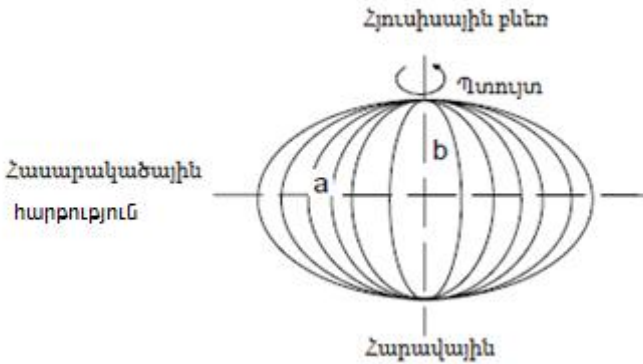
Այն մեծությունը, որով այդ մակերևույթը տարբերվում է իդեալական մակերևույթից, անվանվում է սեղմվածություն և նշանակվում  $\alpha$  տառով:

$$\alpha = \frac{a - b}{a} \quad (7.1)$$

Ֆրանսիացի գիտնական Գելամբրի կողմից 1800 թվականին համեմատաբար բարձր ճշտությամբ առաջին անգամ հաշվարկվեցին երկրային էլիպսոիդի կիսաառանցքները: Հետագայում մի շարք գիտնականների կողմից կատարվեցին կիսաառանցքների վերահաշվարկում (աղ 7.1):

Հեղինակ	Հաշվման տարի	Չափերը մետրերով		Սեղնվածությունը, $\alpha$
		$a$	$b$	
Գելամբրի	1800	6375653	6356564	1:334
Բեսել	1841	6377397	6356079	1:299.2
Խայֆորդ	1909	6378388	6356912	1:297

Եթե էլիպսը պտտենք հյուսիս և հարավ համաչափության առանցքի շուրջ, ապա արդյունքում կստանանք սֆերոիդ (նկ. 7.2):



Նկ. 7.2 Սֆերոիդ

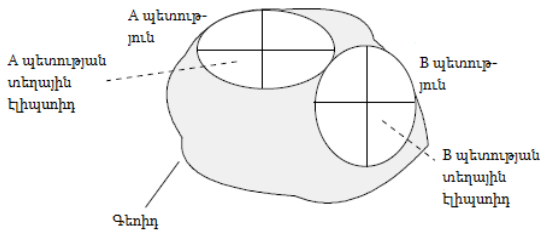
### 7.1.1 Լուկա էլիպսոիդներ և դրանց տվյալները

Երբ աշխատում եք էլիպսոիդի հետ, հարկավոր է վստահ լինել, որ իրական ուղղահայացը համընկնում է ոչ թե էլիպսոիդի, այլ գեոիդի ուղղահայացին: Այսինքն, նորմալ էլիպսոիդալ և իրական ուղղահայացները չեն համընկնում և տարբերվում են «ուղղաձիգ շեղման» մեծությամբ: Որպեսզի այս տարբերությունները բերվեն նվազագույնի, յուրաքանչյուր պետություն հաշվարկել է իր ոչ երկրակենտրոն էլիպսոիդը և այդ մակերևույթը օգտագործում է քարտեզագրական աշխատանքների

համար (նկ.7.3): a և b կիսաառանցքները ընտրվում են այնպես, որ էլիպսոիդը հնարավորինս քիչ տարբերվի գեոիդի մոդելից:

**Քարտեզագրական ռեֆերենց համակարգեր:** Ազգային և միջազգային քարտեզագրական ռեֆերենց համակարգերը հենվում են որոշակի էլիպսոիդների վրա, որոնք կոչվում են տվյալների բազա (Datum)՝ ցուցանիշների համախումբ, որն օգտագործվում է ռեֆերենց էլիպսոիդը տեղային աշխարհագրական կոորդինատային համակարգի տրանսֆորմացման համար: Կախված այն բանից, թե ինչ քարտեզ է օգտագործվում GNSS ընդունիչի կողմնորոշման համար, պետք է ուշադիր լինել, որ այդ համակարգի բոլոր տվյալները մուտքագրված լինեն GNSS ընդունիչ:

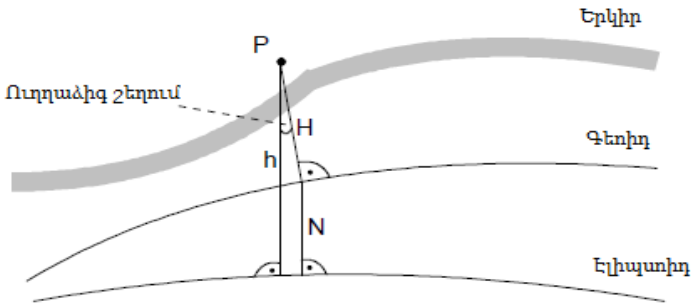
Գոյություն ունեն ավելի քան 120 համակարգեր, որոնք օգտագործվում են GNSS ընդունիչներում, սակայն որպես համաշխարհային ստանդարտ ընդունված է օգտագործել WGS-84 համակարգը:



Նկ. 7.3 Լոկալ ռեֆերենց էլիպսոիդ

Էլիպսոիդը շատ հարմար է տեղադիրքի աստիճանային տվյալների նկարագրության համար, իսկ բարձրության մասին տվյալները հենվում են գեոիդի մոդելի վրա: Գեոիդի մոդելի վրա հիմնված H չափված բարձրության և էլիպսոիդալ հ բարձրության միջև տարբերությունը մեզ հայտնի է որպես գեոիդի ալիքավորություն, որը նշանակվում է N տառով (նկ. 7.4):



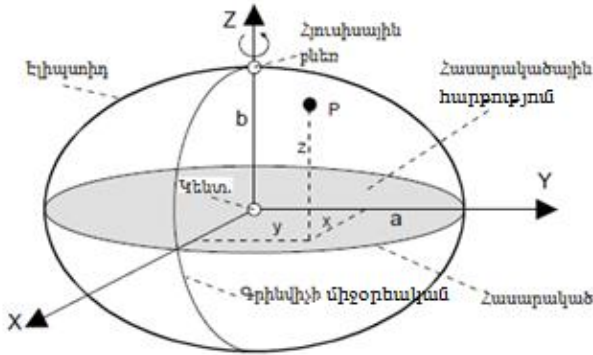


Նկ. 7.4 Գեոիդի և էլիպսոիդի տարբերությունը

### 7.1.2 Համաշխարհային ռեֆերենց էլիպսոիդ WGS-84

GNSS-ի կողմից կատարվող տեղանքի ցուցումները և հաշվարկները կատարվում են WGS-84 կոորդինատային համակարգում: WGS-84 կոորդինատային համակարգը երկրակենտրոն համակարգ է՝ տեղադրված Երկրի կենտրոնի նկատմամբ: Նման համակարգերը կոչվում են ESEF (earth centered, earth fixed): WGS-84 կոորդինատային համակարգը եռաչափ համակարգ է, որի կենտրոնը համապատասխանում է էլիպսոիդի ծանրության կենտրոնին, որն էլ իր հերթին մոտավորապես համապատասխանում է Երկրի ընդհանուր ծանրություն կենտրոնին:

Էլիպսոիդի դրական X առանցքը (նկ.7.5) ընկած է հասարակածային հարթության վրա և ուղղված դեպի այն կետը, ուր հատվում են հասարակածը և Գրինվիչի գրոյական միջօրեականը: Y առանցքը նույնպես ընկած է հասարակածային հարթությունում և X-ի առանցքի հետ կազմում է  $90^{\circ}$ -ի անկյուն՝ դեպի արևելք ուղղությամբ: Z առանցքն ուղղահայաց է X և Y առանցքներին և ուղղված է դեպի աշխարհագրական հյուսիսային բևեռ:



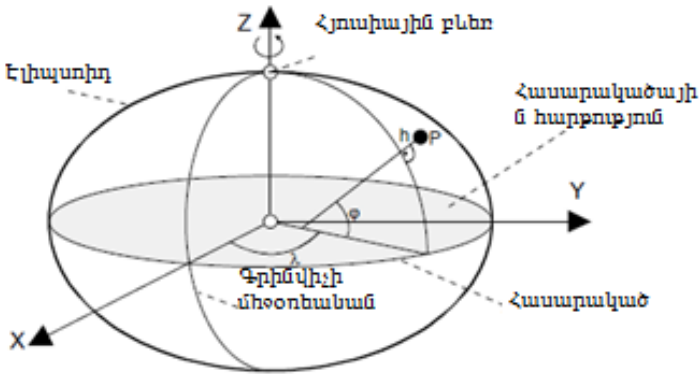
Նկ. 7.5 Դեկարտյան կոորդինատային համակարգի պատկերումը

**WGS-84 ռեֆերենց էլիպսոիդի տվյալները**

Աղյուսակ 7.2

Մեծ կիսաառանցք a (մ)	Փոքր կիսաառանցք a (մ)	Սեղմվածություն
6378137.00	6356752.31	1: 298.257223563

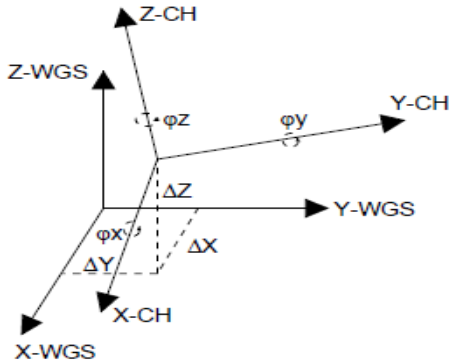
Հետագա մշակումների համար օգտագործվում են ոչ թե դեկարտյան  $X, Y, Z$ , այլ էլիպսոիդալ կոորդինատները  $(\varphi, \lambda, H)$  (նկ.7.6),  $\varphi$  -ն համապատասխանում է լայնությանը,  $\lambda$  -ն՝ երկայնությանը,  $H$ -ը՝ էլիպսոիդալ բարձրությանը, իսկ մինչև  $P$  կետը ուղղահայաց գծի չափը ընդունվում է մինչև էլիպսոիդի հետ հատվելը:



Նկ. 7.6 Էլիպսոիդալ կոորդինատների պատկերում

## 7.2 Անցումը տեղային ռեֆերենց Էլիպսոիդից համաշխարհայինին

Որպես Գեոդեզիական տվյալների բազա (Datum), ռեֆերենց համակարգերը լինում են լոկալ, այլ ոչ գեոցենտրիկ (երկրակենտրոն): Տեղային և գլոբալ համակարգերի միջև կապը մեզ հայտնի է որպես գեոդեզիական տվյալներ (Datum): Այն դեպքում, երբ տեղային և համաշխարհային համակարգերի առանցքները զուգահեռ են, կամ դրանք կարելի է համարել զուգահեռ սահմանափակ տարածքներում օգտագործելու համար, համակարգի փոխակերպման համար կպահանջվեն երեք կոորդինատային աճեր, որոնք հայտնի են որպես  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  տվյալների տեղափոխման հաստատուններ: Բացի այդ, ավելացվում են պտտման երեք անկյունները՝  $\varphi X, \varphi Y, \varphi Z$  և մասշտաբի  $m$  գործակիցը (նկ.7.7): Այսինքն, կոորդինատային լոկալ համակարգի ճիշտ փոխակերպման համար անհրաժեշտ են յոթ պարամետրեր (Datum): Այդ պարամետրերը արտացոլում են լոկալ կոորդինատային համակարգի դիրքը համաշխարհայինի նկատմամբ:



Նկ. 7.7 Գեոդեզիական տվյալներ (Datum)

Աղյուսակ 7.3-ում բերված են մի քանի պետությունների կոորդինատային համակարգերի անցումային 7 պարամետրերի արժեքները:

**Անցումային տվյալների արժեքներ**

Աղյուսակ 7.3

Պետություն	Անվանում	$\Delta X$ (մ)	$\Delta Y$ (մ)	$\Delta Z$ (մ)	$\Phi_x$ (")	$\Phi_y$ (")	$\Phi_z$ (")	M (ppm)
Գերմանիա	Պոտսդամ	586	87	409	-0,52	- 0,1 5	2, 82	9
Ֆրանսիա	NTF	- 168	-60	320	0	0	0	1
Իտալյա	SI 1940	- 225	-65	9	-	-	-	-
Նիդերլանդներ	RD/NP	565, 04	49, 91	465, 84	0,40 94	- 0,3 597	1, 86 8	4,077 2
Ավստրիա	MGI	- 577, 326	- 577 ,32	- 463, 919	5,13 66	1,4 742	5, 29 7	- 2,423 2

			6					
Շվեյցարիա	CH 1903	660, 077	13, 551	369, 344	0,80 65	0,5 789	0, 95 4	5,66

Այսինքն, տվյալների փոխարկումը մի համակարգից մյուսին նշանակում է եռաչափ դեկարտյան համակարգի շարժում, եռաչափ տարածությունում պտույտ 3D հարթության վրա և մասշտաբավորում: Գործընթացի իրականացման համար անհրաժեշտ է ունենալ այդ 7 պարամետրերը: Դրանց հաշվարկման բանաձևերը կարելի է գտնել գրականության մեջ կամ ինտերնետում: Այս փոխակերպումից հետո հնարավոր է դառնում դեկարտյան համակարգը փոխակերպել էլիպսոիդալ կոորդինատային համակարգերի:

### 7.3 Կոորդինատային համակարգի ձևափոխումը: Անցումը դեկարտյան համակարգից էլիպսոիդալի

Դեկարտյան և էլիպսոիդալ համակարգերը կարող են փոխակերպվել մեկը մյուսին: Սակայն ձևափոխումը կախված է նաև այն քառորդից, որում գտնվում է համակարգը: Ստորև բերված օրինակը վերաբերում է Եվրոպային: Սա նշանակում է, որ  $x, y, z$  մեծությունները դրական են:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{\left[ z + \left( \frac{a^2 - b^2}{b^2} \right) \cdot b \cdot \left[ \sin \left[ \tan^{-1} \left[ \frac{z \cdot a}{\left( \sqrt{x^2 + y^2} \right) \cdot b} \right] \right] \right]^3}{\left( \sqrt{x^2 + y^2} \right) - \left( \frac{a^2 - b^2}{a^2} \right) \cdot a \cdot \left[ \cos \left[ \tan^{-1} \left[ \frac{z \cdot a}{\left( \sqrt{x^2 + y^2} \right) \cdot b} \right] \right] \right]^3}, \quad (7.2)$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \quad (7.3)$$

$$h = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\cos(\varphi)} - \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} : \quad (7.4)$$

**Էլիպտիկալ համակարգից անցումը դեկարտյանի:** Էլիպտիկալ համակարգի փոխարկումը դեկարտյանի կատարվում է հետևյալ բանաձևերի օգնությամբ:

$$x = \left[ \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} + h \right] \cos(\varphi) \cdot \cos(\lambda), \quad (7.5)$$

$$y = \left[ \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} + h \right] \cos(\varphi) \cdot \sin(\lambda), \quad (7.6)$$

$$z = \left[ \frac{a}{\sqrt{1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right) \cdot [\sin(\varphi)]^2}} \left[ 1 - \left(\frac{a^2 - b^2}{a^2}\right) \right] + h \right] \cdot \sin(\varphi): \quad (7.7)$$

## 7.4 Շրջանաձև կոորդինատներ և պրոյեկցիա

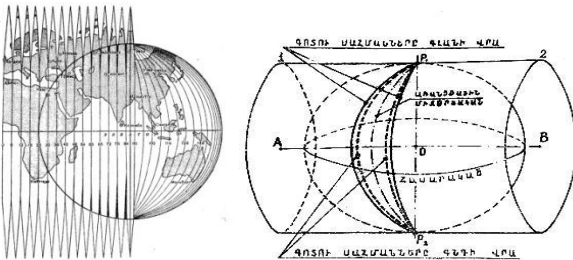
Մովորաբար, քարտեզագրման ժամանակ ցույց է տրվում P կետի դիրքը Երկրի մակերևույթի վրա էլիպսոիդալ կոորդինատների լայնության  $\varphi$ , երկայնության  $\lambda$  և բարձրության H օգնությամբ:

Հաշվի առնելով այն փաստը, որ գեոիդալ հաշվարկները էլիպսոիդի վրա թվային են, պրակտիկայում օգտագործվում է էլիպսոիդի պրոյեկցիան հատակագծի վրա: Սա հանգեցնում է տարածաշրջանային ուղղանկյուն  $x, y$  պլանային կոորդինատների ստացմանը: Գրեթե բոլոր քարտեզներն ունեն ցանցեր, որոնք թույլ են տալիս հեշտորեն որոշել կետի կոորդինատները: Էլիպսոիդի պրոյեկտումը հարթության վրա հնարավոր չէ առանց շեղումների: Սակայն պրոյեկտման եղանակները կարելի է ընտրել այնպես, որ շեղումները հասցվեն նվազագույնի: Մովորաբար, պրոյեկցիաները լինում են գլանային կամ Մերկատորյան, կամ էլ Գաուս-Կրյուգերի և UTM պրոյեկցիաներ:

Տեղադիրքի տեղեկատվությունը պետք է համապատասխանի քարտեզի տվյալներին, այսինքն ինչ ռեֆերենց համակարգ և ինչ պրոյեկցիա է օգտագործվել քարտեզի ստեղծման համար:

### 7.4.1 Գաուս-Կրյուգերի պրոյեկցիա

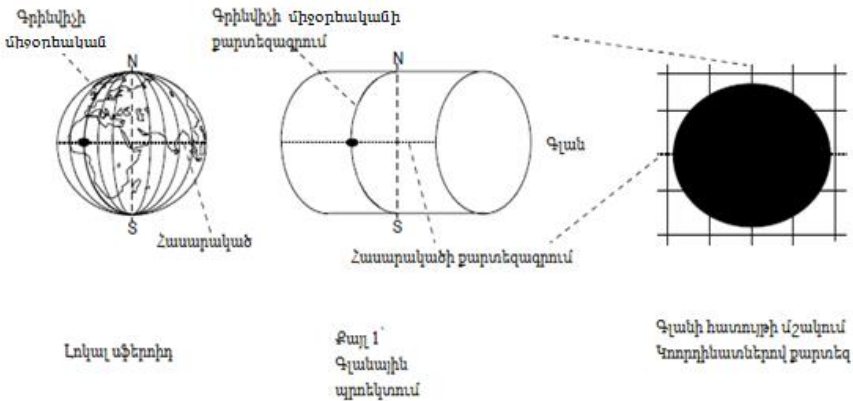
Տարբեր երկրներում ընդունված են տարբեր համակարգեր: ԱՊՀ-ում, հետևաբար և ՀՀ-ում, կիրառվում է Գաուս-Կրյուգերի համակարգը, որը ընդհանուր է ամբողջ երկրագնդի համար: Երկրի մակերևույթը բաժանվում է 60 գոտիների (նկ. 7.8):



Նկ. 7.8 Վեցաստիճան գեոդեզիական գոտիներ

Գոտիների համարներն աճում են դեպի արևելք: 1-ին գոտին սահմանափակված է արևմուտքից  $0^{\circ}$ , իսկ արևելքից  $6^{\circ}$  երկայնության միջօրեականներով, 2-րդ գոտին՝  $6^{\circ}$  և  $12^{\circ}$  միջօրեականներով և այլն: 8-րդ գոտին, որտեղ գտնվում է Երևանը, սահմանափակված է  $42^{\circ}$  և  $48^{\circ}$  միջօրեականներով: Յուրաքանչյուր գոտու առանցքով անցնող միջօրեականը կոչվում է առանցքային միջօրեական: Հետևաբար, 1-ին գոտու առանցքային միջօրեականի երկայնությունը կլինի  $3^{\circ}$ , 8-րդ գոտունը՝  $45^{\circ}$  և այլն:

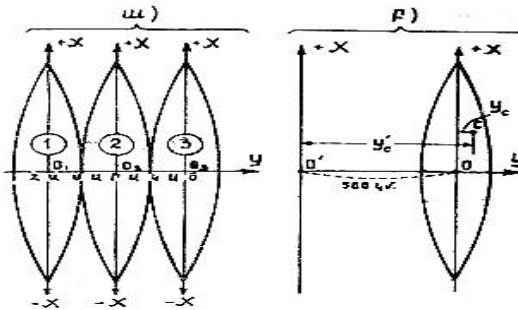
Յուրաքանչյուր սֆերիկ գոտու հարթ պատկերը ստանալու համար վարվում են հետևյալ կերպ (նկ.7.8,7.9): Մտովի պատկերացնենք, որ երկրագունդը ներգծված է գլանի մեջ, որի AB առանցքը ուղղահայաց է Երկրի պտտման  $P_1P_2$  առանցքին և գտնվում է հասարակածի հարթության մեջ: Երկրագունդը պտտում են  $P_1P_2$ -ի շուրջը մինչև որ տվյալ գոտու առանցքային միջօրեականը շոշափի գլանի կողային մակերևույթին: Այդ դրությամբ սֆերիկ գոտին, որի սահմանները գծագրի վրա ցույց են տրված կետագծերով, գնդի կենտրոնից պրոյեկտում են գլանի կողային մակերևույթի վրա և ստանում պրոյեկցիան (նրա սահմանները նկար 7.8-ի վրա ցույց են տրված հոծ գծերով):



Նկ. 7.9 Գաուս-Կրյուգերի պրոյեկցիա



Այնուհետև գլանը հատում են նրա ծնիչով և կիսագլանը փռում հարթության վրա, որտեղ գտնվում է նաև գոտու հարթ պրոյեկցիան: Նույն ձևով վարվում են մյուս բոլոր գոտիների հետ: Նկար 7.10-ի վրա ցույց են տրված 1-ին, 2-րդ և 3-րդ սֆերիկ գոտիների հարթ պատկերները: Յուրաքանչյուր գոտու հարթ պատկերի վրա նրա առանցքային միջօրեականն ընդունում են որպես  $x$ -երի առանցք, իսկ հասարակածի պրոյեկցիան՝ որպես  $y$ -ների առանցք:  $o_1, o_2, o_3 \dots$  կետերը կներկայացնեն այդ գոտիների կորդինատային առանցքների սկզբնակետերը (նկ.7.10ա):



7.10 Սֆերիկ գոտիների հարթ պատկերները

Այսպիսով, Գաուս-Կրյուգերի ուղղանկյուն կորդինատային համակարգում ստացվում են 60 միատեսակ կորդինատային  $x$  և  $y$  առանցքներ: Որպեսզի հայտնի լինի, թե տվյալ կետը որ գոտում է գտնվում, օրդինատի արժեքի առջևում գրում են գոտու հերթական համարը: Օրինակ, եթե որևէ C կետի համար նշված են կորդինատները  $x_c = 5916$  կմ և  $y_c = 8103$  կմ, դա նշանակում է, որ C կետը նախ գտնվում է 8-րդ գոտում, հեռացած է հասարակածից 5916 կմ, իսկ տվյալ գոտու առանցքային միջօրեականից հեռացած է դեպի արևելք 103 կմ-ով:

ԱՊՀ սահմաններում  $x$ -երի արժեքները միշտ էլ դրական են, իսկ  $y$ -ները կարող են լինել դրական, եթե կետը գտնվում է գոտու արևելյան կեսում և բացասական, եթե կետը գտնվում է գոտու արևմտյան կեսում:

Որպեսզի  $y$ -ները միշտ դրական լինեն և դրանց արժեքի առջևում նշան դնելու կարիքը վերանա,  $y$ -ների առանցքը զուգահեռ տեղափոխվում են 0 կետից 500 կմ հեռավորության վրա դեպի արևմուտք (նկ.7.10բ), այդ դեպքում կետի բերված օրդինատը կլինի  $y' = y + 500$ կմ:

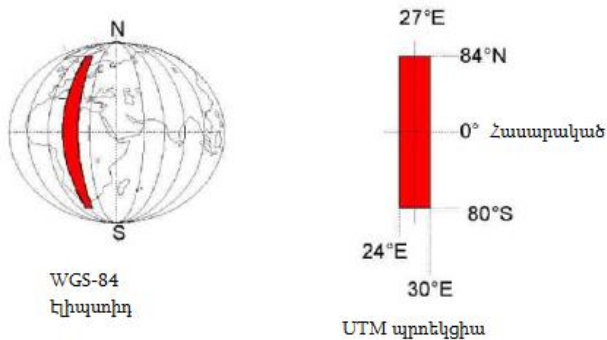
### 7.4.2 UTM պրոյեկցիա

Ի տարբերություն Գաուս-Կրյուգերի պրոյեկցիայի, UTM պրոյեկցիան թույլ է տալիս պրոյեկտել Երկրագնդի գրեթե ամբողջ տարածքը: Պրոյեկցիան գլանում կատարվում է նույն պայմանով, ինչ Գաուս-Կրյուգերինը: UTM պրոյեկցիան հաճախ հենվում է WGS-84 էլիպսոիդի վրա: Սակայն դա որոշում է պրոյեկցիան և կոորդինատային համակարգը, այլ ոչ ռեֆերենց էլիպսոիդը և գեոդեզիական կոորդինատները:

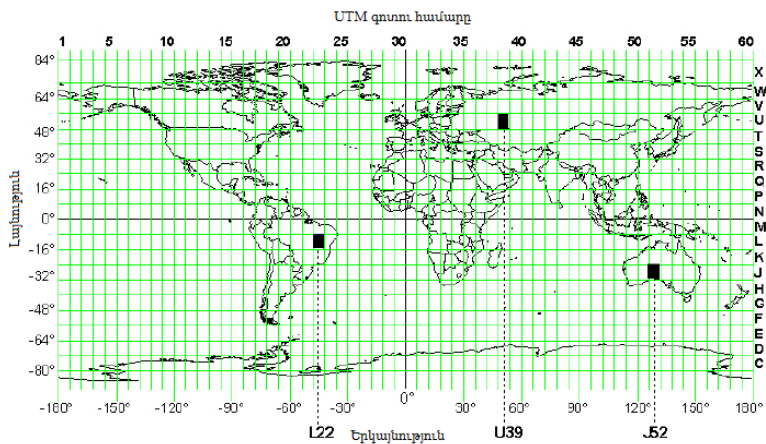
UTM համակարգը բաժանում է երկրագունդը  $6^{\circ}$ -լայնական գոտիների (նկ. 7.11): Վերջիններս համարակալված են 1-60 թվերով և սկսվում են  $180^{\circ}$  արևմուտքից և ավարտվում  $180^{\circ}$  արևելքում: Եթե, օրինակ, 1 գոտին սկսվում է  $100^{\circ}$  արևմուտքից և հասնում է  $174^{\circ}$  արևմուտք, ուրեմն դրա առանցքային միջօրեականը գտնվում է  $177^{\circ}$  արևմուտքում և այսպես շարունակ:

Յուրաքանչյուր պրոյեկտման գոտու համար առանցքային միջօրեականները անցնում են՝  $3^{\circ}, 9^{\circ}, 15^{\circ}, 21^{\circ}, 27^{\circ}, \dots, 177^{\circ}$  արևելքից արևմուտք (նկ. 7.11):

Ի տարբերություն Գաուս-Կրյուգերի պրոյեկցիայի, UTM պրոյեկցիայում օգտագործվում է մասշտաբային գործակից, որը հավասար է 0.9996: Սա է պատճառը, որ առանցքային միջօրեականից մոտ 180կմ հեռավորության վրա դեռևս չկան շեղումներ: Երկայնությամբ էլիպսոիդը բաժանվում է  $8^{\circ}$ -ի գոտիների և սկսվում է  $80^{\circ}$  հարավից, որը նշանակվում է  $\|6\|$  տառով և հասնում է մինչև  $\|X\|$  տառը բաց թողնելով  $\|1\|$  և  $\|0\|$  տառերը: Վերջին  $\|X\|$  հատվածին ավելանում է  $4^{\circ}$ -ի գոտի և ավարտվում է  $84^{\circ}$  հյուսիս սահմանում՝ ներառելով Երկրագնդի հյուսիսային հատվածները:



Նկ. 7.11 Գոտու պրոյեկտման պայմանը UTM –ում



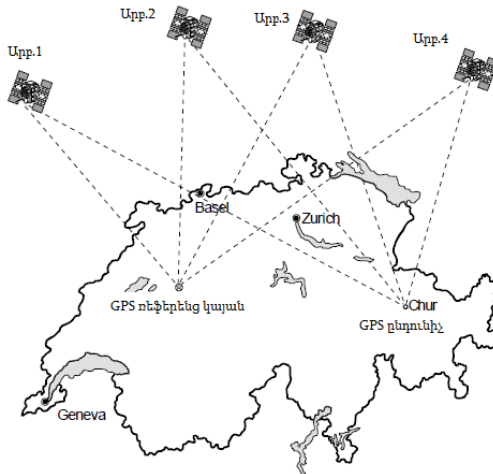
Նկ. 7.12 UTM պրոյեկցիայում գոտիականության նշանակումները

## 8. DGPS ՏԵԽՆՈԼՈԳԻԱ

DGPS-ը, որը հենվում է ավիքի թռիչքի ժամանակի ուշացման չափման վրա, շատ հասարակ է: GPS ռեֆերենց կայանը տեղակայված է հայտնի և ճշգրտորեն որոշված կոորդինատներով կետի վրա: GPS ռեֆերենց կայանը իր տեղադիրքը որոշում է՝ օգտագործելով 4 կամ ավելի արբանյակներ: Հաշվի առնելով, որ այդ կայանի կոորդինատները որոշված են բարձր ճշտությամբ, ապա հնարավոր է հաշվարկել պսևոդիտափոփոխության մեծությունը և իրական դիրքի տարբերությունը չափված դիրքի նկատմամբ յուրաքանչյուր արբանյակի համար: Այս չափումները հնարավոր են GPS ռեֆերենց կայանից մինչև 200կմ հեռավորությամբ դասավորված բոլոր GPS ընդունիչների համար: Արբանյակային պսևոդիտափոփոխությունը կարող է օգտագործվել այլ GPS ընդունիչների չափումների ճշտումների համար (նկ. 8.1):

Տարբերությունները կամ հեռարձակվում են անմիջապես կամ օգտագործվում հետմշակման ժամանակ [8]:

Շատ կարևոր է, որ ճշտումները հիմնված լինեն արբանյակային պսևոդիտափոփոխության արժեքի, այլ ոչ բազային GPS ռեֆերենց կայանի շեղումների վրա: Շեղումները հիմնված են կոնկրետ արբանյակի պսևոդիտափոփոխության վրա:

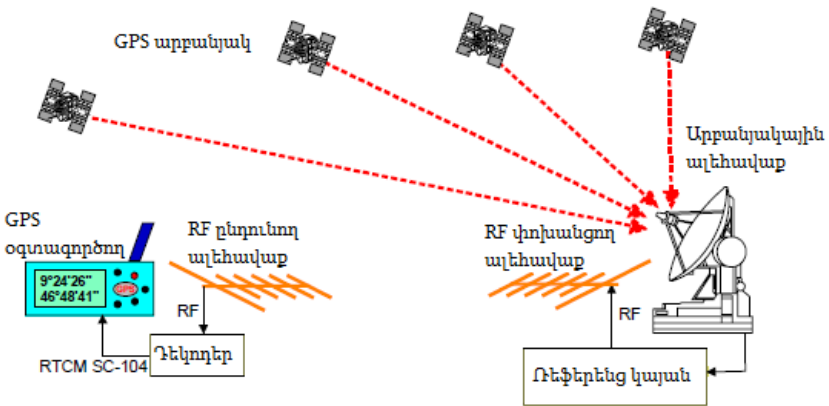


Նկ. 8.1 DGPS-ի պայմանը GPS բազային կայանի նկատմամբ

**Աշխատանքի մանրամասն նկարագրություն:** Միսալների փոխհատուցումը կատարվում է երեք փուլով.

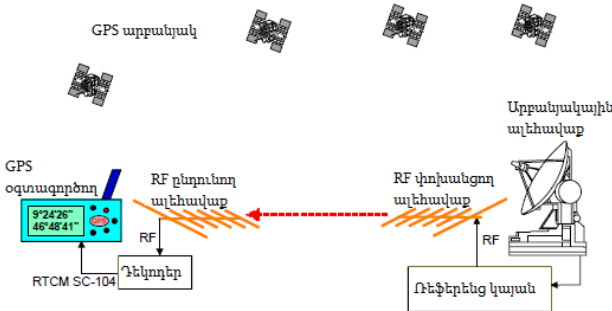
1. Ռեֆերենց կայանի ճշտման մեծությունների որոշում:
2. Ճշտումների պարամետրերի փոխանցումը ռեֆերենց GPS կայանից դեպի GPS օգտագործողը:
3. Պսևդոհեռավորության մեծության ճշտում, որը թույլ է տալիս GPS օգտագործողին ճշգրիտ աշխատել:

**Ճշտման գործոնների որոշում:** Բազային կայանը, որի դիրքը ճշգրիտ հայտնի է, չափում է բոլոր տեսանելի արբանյակներից հեռարձակվող L1 ալիքի թռիչքի ժամանակը (նկ.8.2) և օգտագործում այդ տվյալները արբանյակների նկատմամբ իր փոխադարձ դիրքի որոշման համար: Այս չափումները, իհարկե, պարունակում են սխալներ, և քանի որ ռեֆերենց կայանի կոորդինատները ճշգրտորեն հայտնի են, ուստի կարելի է հաշվարկել մինչև արբանյակը եղած ճշգրիտ հեռավորությունը: Իրական և չափված հեռավորությունների միջև տարբերությունը համապատասխանում է ճշտման գործոնին: Ճշտումների գործոնները տարբեր են յուրաքանչյուր GPS արբանյակի համար և օգտագործվում են մի քանի հարյուր կիլոմետրի վրա գտնվող բոլոր GPS օգտագործողների կողմից:



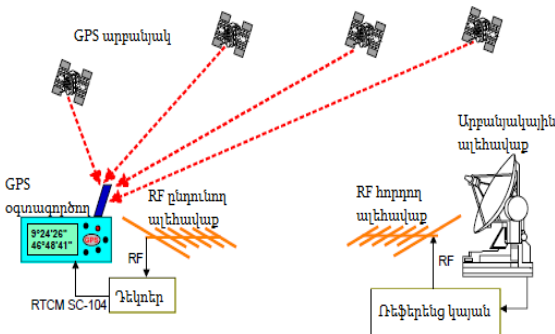
Նկ. 8.2 Ճշտման մեծության որոշումը

**Ճշտման տվյալների հեռարձակումը:** Հաշվի առնելով այն փաստը, որ ճշտումների մեծությունները կարող են օգտագործվել այլ GPS օգտագործողների կողմից, պակտիզացիայի սխեմայի փոխհատուցման համար դրանք անմիջապես հեռարձակվում են այդ օգտագործողներին թույլատրելի շառավղի սահմաններում:



Նկ. 8.3 Ճշտման մեծությունների հեռարձակում

**Չափված պակտիզացիայի դժուարություն:** Ճշտման մեծությունների ստացումից հետո օգտագործողը կարող է փոխհատուցել պակտիզացիայի սխեմայի և հաշվարկել մինչև արբանյակը եղած իրական հեռավորությունը (նկ. 8.4): Այս փաստացի և ճշգրիտ հեռավորություններն էլ օգտագործվում են օգտագործողի ճշգրիտ տեղադիրքի որոշման համար: Ընդունիչի աղմուկի և բազմադիրքային հետ չկապված բոլոր սխալներն այս փուլում կարող են փոխհատուցվել:

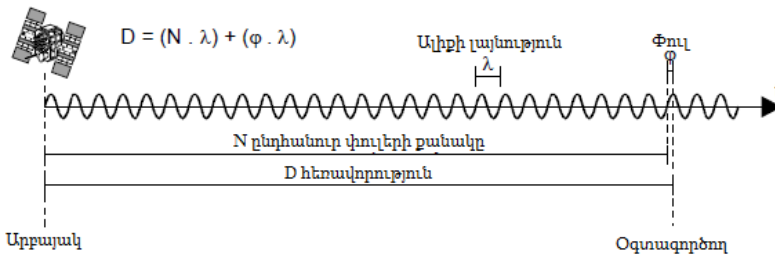


Նկ. 8.4 Չափված պակտիզացիայի դժուարություն

## 8.1 Կրող ֆազի չափման վրա հիմնված DGPS

Ազդանշանի թռիչքի ժամանակի չափման եղանակով ստացվող 1 մետր ճշտությունը շատ դեպքերում բավարար չէ առաջադրված խնդիրների լուծման համար, օրինակ, հանութագրական աշխատանքների իրականացման համար: Որպեսզի ստանանք միլիմետրի ճշտություն, անհրաժեշտ է, որ արբանյակային ազդանշանի կրող ֆազը լինի գնահատված:

Կրող ալիքի  $\lambda$  ալիքային երկարությունը կազմում է մոտավորապես 19սմ: Մինչև արբանյակը եղած հեռավորությունը կարելի է հաշվել այնպես, ինչպես ցույց է տրված ստորև բերված նկար նկ. 8.5-ում:



Նկ. 8.5 Ֆազի չափման սկզբունքը

Տարբեր ժամանակահատվածների ընթացքում դիտարկելով տարբեր արբանյակներ և համեմատելով այդ տվյալները օգտագործողների և բազային կայանների տվյալների հետ, կարելի է հաշվարկել տեղադիրքը՝ օգտագործելով մաթեմատիկական հավասարումների մի ամբողջ բանակ, ինչի արդյունքում մենք կունենանք մի քանի միլիմետրի ճշտություն:

## 8.2 Ճշտումների տվյալների հաղորդում

DGPS ծառայությունը բազային կայաններից հավաքում է տվյալները և հաղորդում դրանք շարժական օգտագործողներին ռադիո-հեռարձակման օգնությամբ: Կան բազմաթիվ ալիքներ, որոնցով հաղորդվում են այդ տվյալները: Այս հեռարձակման յուրաքանչյուր համակարգ ունի իր առանձնահատուկ ռադիոտեխնիկական բնութա-

գիրը և հաճախականության դիապազոնները, որոնք ունեն որոշակի առավելություններ և թերություններ (աղ. 7.3):

**Դիֆերենցիալ ալիքների հեռահաղորդման գործընթացը**  
Աղյուսակ 8.1

Հեռարձակման համակարգ	հաճախություն	առավելությունները	թերություն	Ուղղման տվյալների հաղորդում
Երկար և միջին ալիքներ հաղորդող	100-600 ԿՀց	Հաղորդման լայն սպեկտոր (1000 կմ)	Տվյալների դանդաղ հաղորդում	RTCM SC104
Ծովային ռադեոնշան	283-315 ԿՀց	Հաղորդման լայն սպեկտոր (1000 կմ)	Տվյալների դանդաղ հաղորդում	RTCM SC104
Ավիաթիոն ռադեոնշան	255-415 ԿՀց	Հաղորդման լայն սպեկտոր (1000 կմ)	Տվյալների դանդաղ հաղորդում	RTCM SC104
Կարճ ալիքներ հաղորդող	3-30 ՄՀց	Հաղորդման լայն սպեկտոր	Տվյալների դանդաղ հաղորդում, որակը կաղված է ժամանակից և հաճախությունից	RTCM SC104
VHF և UKV	30-300 ՄՀց	Տվյալների հաղորդման մեծ արագություն, գոյություն ունեցող ենթակառուցվածքների հետ համատեղ օգտագործում	Հաղորդման դիապազոնը սահմանափակված է քվադր-օպտիկական պայմաններով	RTCM SC104
Բջջային կապ (GSM, GPRS)	450, 900, 1800 ՄՀց	Գոյություն ունեցող ծածկույթի հետ համատեղ օգտագործում	Հաղորդման դիապազոնի սահմանափակում, սինխրոնիզացման խնդիրներ	RTCM SC104
GEO արբանյակային համակարգ	1.2-1.5 ԳՀց	Ծածկույթի լայն մակերես	Մեծ ներդրումներ	RTCM SC104 (MSAT, Omnistar, Landstar, Starfire) RTCA DO-229C (SBAS, WAAS, EGNOS, MSAS)



Այժմ օգտագործվում է տվյալների հաղորդման ևս մեկ ուղի: Այդ ուղին GSM/GPRS ծառայությունն է, որը մատուցում են տվյալ տարածքի բջջային օպերատորները: Այս գործընթացի դեպքում բազային կայանը բոլոր ճշտումները տեղադրում է ինտերնետային որևէ կոնկրետ IP հասցեի վրա և դաշտի օգտագործողը, ունենալով այդ IP հասցեն, ստանում է ճշտումները և կատարում ճշգրիտ տեղակայում:

### 8.3 DGPS-ի դասակարգումը ըստ հեռարձակման շառավղի

Կախված հեռարձակման շառավղից՝ հասանելի են DGPS տարբեր ծառայություններ և ըստ հեռարձակման շառավղի DGPS-ը դասակարգվում է հետևյալ կերպ.

1. Տեղային DGPS՝ *Local Area Augmentation system* (LAAS): Այն հաճախ անվանում են *Ground Based Augmentation system* (GBAS):

2. Տարածքային DGPS:

3. Լայն տարածքի *DGPS՝ Wide Area DGPS* (WADGPS) կամ *Satellite Based Augmentation System* (SBAS), որն օգտագործվում է DGPS ճշտումների՝ արբանյակներ հաղորդման համար: Այս դեպքում օգտագործվում է ոչ թե մեկ ռեֆերենց կայան, այլ ռեֆերենց կայանների ամբողջ ցանցը:

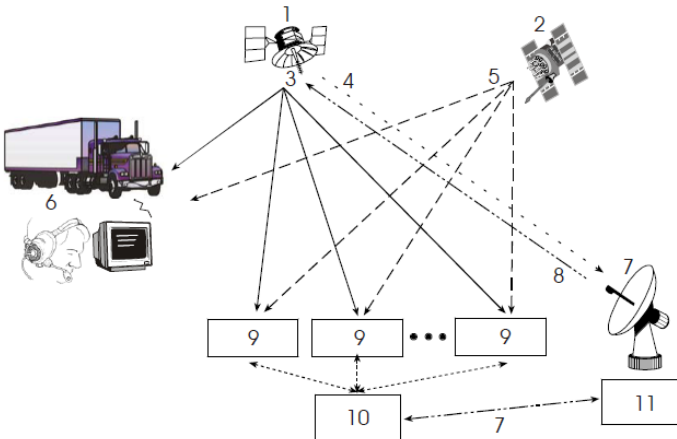
**Satellite Based Augmentation System (SBAS):** SBAS-ը գեոստացիոնար արբանյակային համակարգ է, որը բարելավում է ճշտությունը, ամբողջականությունը և GPS բազային ալիքների հասանելիությունը: Ճշտությունը մեծանում է WADGPS-ի օգտագործմամբ, ինչն օգնում է ստանալ ավելի ճիշտ տեղեկատվություն արբանյակի ուղեծրի և իոնոսֆերայի փաստացի վիճակի մասին: Եթե արբանյակը սկսում է ուղարկել ոչ ճշգրիտ ազդանշաններ, ապա SBAS համակարգը անմիջապես արձագանքում է և ազդանշան է ուղարկում դեպի օգտագործողների ընդունիչներ, որոնք կանխում են սխալ ազդանշանների օգտագործումը: Այսինքն, որակը բարձրանում է յուրաքանչյուր գեոստացիոնար SBAS արբանյակից ստացվող ազդանշանների հաշվին [9]:

SBAS-ը ներառում է WAAS-ը, եվրոպական գեոստացիոնար անվիզացիոն համակարգը՝ EGMOS և MSAS-ը:

SBAS-ը ունի հետևյալ կարևոր գործառնությունները.

1. տվյալների հավաքագրում,
2. իոնոսֆերային սխալների որոշում,
3. արբանյակների ուղեծրերի որոշում,
4. արբանյակային ժամային սխալների որոշում,
5. արբանյակային համակարգի ամբողջականության որոշում,
6. տվյալների ճշտության անկախ ստուգում,
7. SBAS լայնահեռարձակ հաղորդագրության և հեռաչափության տրամադրում,
8. համակարգի տեխնիկական գործունեության սպասարկում:

Ինչպես ցույց է տրված նկար 8.6-ում, SBAS-ը կազմված է մի քանի ռեֆերենց կայաններից, մաստեր կայաններից, երկրային Uplink կայաններից և գեոստացիոնար արբանյակներից: Այն ռեֆերենց կայանները, որոնց կորոդինատները հայտնի են, GNSS-ից ստանում են տվյալները և դրանք ուղղում մաստեր կայաններ, որտեղ էլ ստեղծվում է լայնատարած ճշտումը (WA): Այս ճշտումները ուղարկվում են երկրային Uplink կայաններ, որոնք էլ իրենց հերթին դրանք ուղարկում են գեոստացիոնար արբանյակներին, իսկ վերջիններս վերահաղորդում են դրանք GPS L1 հաճախականությամբ: Այսպիսով, համապատասխան սարքավորումով զինված օգտագործողը ստանում է հավելյալ ճշտումներ և բարելավում տեղադիրքի ճշտության որակը:



*Նկ.8.6 SBAS համակարգը*

Նկար 8.6-ի վրա.

1-գեոստացիոնար արբանյակն է, 2-GPS արբանյակը, 3-L1, 4-L1 և C-Bund, 5-L1 և L2, 6-GPS օգտագործող, 7-տվյալների ամբողջականություն, դիֆերենցիալ ճշտումներին տարածքային կառավարում, 8-c-Band, 9-SBAS ռեֆերենց կայան, 10-SBAS մաստեր կայան,11-երկրային Uplink կայան:

### 9. ԿԻՆԵՄԱՏԻԿԱ ԻՐԱԿԱՆ ՃԱՍՆԱԿՈՒՄ(RTK)

RTK չափագրումը այն կինեմատիկական չափագրումն է, որն իրականացվում է բազային կայանի և ռովեր կայանի միջև կապի շնորհիվ:



Նկ. 9.1 Trimble բազային կայան

Trimble R10 ռովեր կայան

RTK-ն ներառում է Stop and go (կանգնել և շարժվել) և տվյալների անընդհատա հավաքագրումը: RTK-ի դեպքում տվյալների մշակման գործընթացը իրականացվում է անմիջապես դաշտում, ինչի հետևանքով

օգտագործողը հաշված վայրկյանների ընթացքում ստանում է ճշգրիտ տվյալներ: Հայտնի է, որ բազային GPS կայանն ունի ճշգրիտ տվյալները և արբանյակից ընդունում է չափման տվյալները և իր հայտնի կորոդինատների հետ միասին հաղորդում է ռովերին: Ռովերն էլ իր հերթին ընդունում է արբանյակներից ուղարկված տվյալները և դրանք համեմատում բազային կայանից ստացված տվյալների հետ: Այնուհետև ռովերը ճշտում է իր տեղադիրքը բազային կայանի նկատմամբ [12]:

Սովորական բազան և ռովերը կատարում են չափումներ 1 վայրկյանանոց էպոխաներով և տեղադիրքի որոշումը կատարում նույն արագությամբ: Եթե որպես կապուղի օգտագործվում է ռադիոալիք, ապա 1 բազային կայանը կարող է սպասարկել անթիվ բազմությամբ ռովերներ, իսկ եթե օգտագործվում է այլ կապուղի, օրինակ՝ բջջային հեռախոսակապի ուղի, ապա ռովերների թիվը պետք է սահմանափակվի: RTK-ի կիրառության կարևորագույն ճյուղերն են հանութագրությունը, շինարարությունը, նշահարումը, կադաստրային չափագրումը, հուշարձանների վերականգնումը և լուսանկարաչափության ստուգումը: RTK-ի առավելությունը կայանում է նրանում, որ շատ կարճ ժամանակում հնարավոր է ստանալ բավականին մեծ ծավալի հատակագծեր լրկալ կորոդինատային համակարգում:

RTK ռեժիմով չափագրում կատարելու համար պարտադիր կարգով անհրաժեշտ է ունենալ մեկ GPS բազա և առնվազն 1 ռովեր շարժակայան: Աշխատանքի ընթացքում ընդունիչը պետք է՝

- կատարի կրող ֆազի չափումներ,
- հաղորդի ժամային և էպոխային ընդհանուր տվյալներ,
- հետևի առնվազն 4 ընդհանուր արբանյակների՝ յուրաքանչյուր տեղադիրքի համար,
- հետևի արբանյակների երկրաչափական դասավորությանը (DOP):

RTK հանութագրման պահանջները ներառում են.

1. նախքան տվյալների հավաքագրումը ռովերի ճանաչում բազայի կողմից,
2. շարժման ընթացքում արբանյակների հետ կապի պահպանում,
3. շարժման ընթացքում բազային կայանի հետ կապի պահպանում:

Ինչպես արդեն տեսանք, GPS-ի և DGPS-ի միջև տարբերությունը ճշտությունն է: Նույնը կարելի է ասել նաև DGPS-ի և RTK-ի համար՝ այստեղ ևս չափման ժամանակ վայրկյանների ընթացքում ստանում ենք բավականին մեծ ճշտություն:

Ստորև բերված է աղյուսակ, որտեղ նշվում է GPS, DGPS և RTK սխալների չափերը:

**GPS սխալների տեսակներն ու չափերը**

Աղյուսակ 9.1

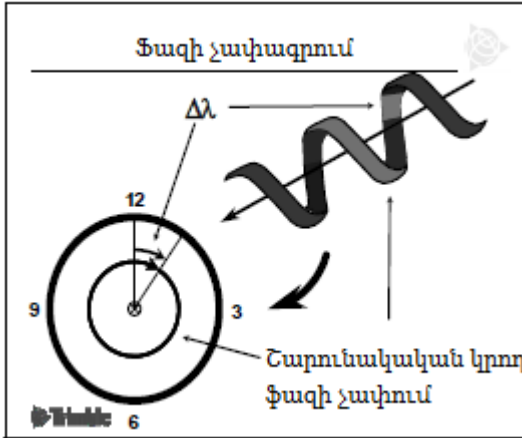
Սխալների աղբյուրները	GPS	DGPS	RTK
Էֆմերիդային սխալներ	0,4-0,5մ	բացակա	բացակա
Արբանյակային ժամացույց	1-1,2մ	բացակա	բացակա
Իոնոսֆերա	0,5-5մ	հիմնականում բացակա	ամբողջությամբ բացակա
Տրոպոսֆերա	0,2-0,7մ	բացակա	բացակա
Ընդհանուր	1,7-7,0մ	0,2-2,0մ	0,05-0,01մ
Ընդունիչ	0,1-3մ	0,1-3մ	ամբողջությամբ բացակա
Բազմուղիություն	0-10մ	0-10մ	բավականաչափ նվազեցված

“Կինեմատիկա” բառն ունի հունական ծագում և նշանակում է շարժում: Այսինքն, RTK ռեժիմի օգտագործման ժամանակ գտնվելով շարժման մեջ, կարելի է ստանալ բավականին մեծ ճշտություն: Սակայն այս բոլոր առավելությունների կողքին կա մեկ թերություն՝ այդ սարքավորումները բավականին թանկ են և հասանելի չեն բոլորին:

Ինչպես արդեն պարզ դարձավ, GPS-ի քաղաքացիական պարզ օգտագործումը շատ հետաքրքիր է, այն շատ արագ ցույց է տալիս կետերի դիրքերի երկրագնդի վրա, սակայն հանութագրման և հետազոտական աշխատանքներում այն չի օգտագործվում միայն մեկ կամ մի քանի կետերի դիրքերի որոշման համար, այլ կետերի մի խմբի դասավորությունը մեկ ուրիշ խմբի նկատմամբ պարզելու համար: Այս

ամենը շատ կարևոր գործընթաց է և, երբ խոսքը ճշտության և արագության մասին է, RTK-ն կատարյալ է :

***Տեղակայում կրող ֆազով:*** RTK-ն որոշում է տեղադիրքը բազային կայանի նկատմամբ կրող ֆազի չափման եղանակով, այլ ոչ PRN:



*Նկ. 9.2 Ֆազի չափում*

PRN-ը կարևոր տարն է կողային բազայում: Յուրաքանչյուր արբանյակ ունի իր յուրօրինակ PRN կոդը, որը հաղորդում է C/A նավիգացիոն հաղորդագրությամբ և ընդունելով այդ կոդը՝ ընդունիչը հասկանում է, թե կոնկրետ որ արբանյակից է ստացվել ազդանշանը: Կրող ֆազն ունի ալիքների ավելի կարճ միջակայք, քան PRN կոդը:

Կրող ֆազի օգտագործումն ունի դրական և բացասական կողմեր.

1. Առավելություն՝ ընդունիչի սխալները հասցված են նվազագույնի DGPS-ի օգնությամբ, PRN կոդի չափման միջոցով նվազեցվում են արբանյակային և որոշ մթնոլորտային սխալներ և այդ չափումներն ուղարկվում են ռովերին: Ռովերը այդ չափումները համեմատում է իր իսկ կատարած չափումների հետ, ինչը ապահովում է ավելի լավ արդյունք:

2. Առավելություն՝ նվազեցված է մթնոլորտային սխալների ազդեցությունը:

Իոնոսֆերային տվյալները մի տեղից մեկ ուրիշին անցնելիս փոփոխվում են և շատ դժվար է այն մոդելավորել միալիքանի GPS

ընդունիչի համար: Սակայն այդ սխալներն ունեն կախում ալիքի հաճախականությունից և կատարելով L1 և L2 ալիքների ուշացման ժամանակի չափումը, հնարավոր է մեծ ճշտությամբ որոշել իոնոսֆերային սխալները: Երկալիքանի ընդունիչները չափում են և՛ L1 և՛ L2-ը և աշխատում բազային ընդունիչից բավականին մեծ հեռավորությունների վրա:

**Խնդիրներ`** պետք է լուծվի ալիքի ոչ միակության խնդիրները:

Ի տարբերություն PRN-ի, կրող ֆազը չունի ժամանակի կմիջ, այն միայն ալիք է՝ մեկը մյուսի հետևից, բոլորը միանման: Հնարավոր է շատ ճշտորեն չափել ֆազը յուրահաստուկ կրող պարբերաշրջաններում, բայց հայտնի չէ, թե մեր և արբանյակի միջև քանի կրող պարբերաշրջաններ կան:

Այնուամենայնիվ, չենք անհանգստանում ռովերից մինչև արբանյակ եղած հեռավորության մասին, այլ միայն մեր և ռովերի բազային կայանի միջև հեռավորության և ազիմուտի մասին: Այս հեռավորությունը գտնելու համար օգտագործվում են մաթեմատիկական հաշվարկներ՝ լուծելով հեռավորության վերաբերյալ մեկը մյուսի հետևից ստացվող տեղեկությունները մինչև անհրաժեշտ ճշգրիտ պատասխանը գտնելը: Այս երևույթը կոչվում է RTK ճանաչողություն «*RTK initialization*»:

Աղյուսակ 9.2–ում ցույց են տրված RTK-ի և DGPS-ի միջև տարբերությունները:

### RTK-ի և DGPS-ի միջև տարբերությունները

Աղյուսակ 9.2

Բնութագրեր	GPS	DGPS	RTK
Անհրաժեշտ արբանյակների թիվը	4		4 (ճանաչումից հետո)
Ճանաչման համար անհրաժեշտ	Ճանաչման անհրաժեշտություն չկա		Նվազագույնը 5
Ճիշտ դիրքորոշման համար պահանջվող ժամանակը	Ընդամենը 1 վրկ		1 րոպեից քիչ
Ընդունիչ	Բավարար է մեկ ալիքանի ընդունիչ		Պահանջվում է

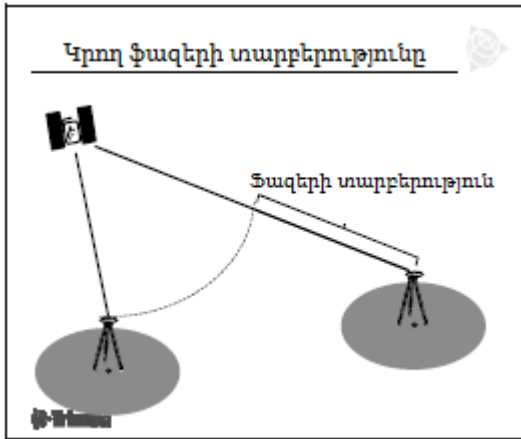
			երկալիքանի ընդունիչ
Բազային չափումներ	PRN ծածկագիր		Կրող ֆազ
Ճշտություն	10-15 մ	Մոտավորապես 1մ	Մոտ. 1սմ հորիզոնական Մոտ. 1սմ ուղղաձիգ
Բազային կայանի պահանջարկ	Հարկավոր չէ	Հարկավոր է	Հարկավոր է

**Կրող ֆազի տարբերությունը:** Ինչպես է GPS ընդունիչը չափում ֆազի տարբերությունները՝

1. յուրաքանչյուր ընդունիչ չափում է միևնույն արբանյակից եկող ազդանշանները,
2. եթե ազդանշանը մեկ ընդունիչում օգտագործվում է որպես բազային, ապա կարելի է հաշվել երկու ազդանշանների միջև ֆազի տարբերությունը,
3. ֆազի տարբերությունը վերաբերում է բոլոր ընդհանուր արբանյակներին:

Մեկ ընդունիչը ի վիճակի չէ պարզել ֆազի ամբողջական ճշգրիտ պարբերաշրջանները: Եթե միևնույն արբանյակին միաժամանակ հետևում են երկու ընդունիչներ, ապա միակության խնդիրը լուծելի է:





Նկ. 9.3 Կրող ֆագի տարբերությունը

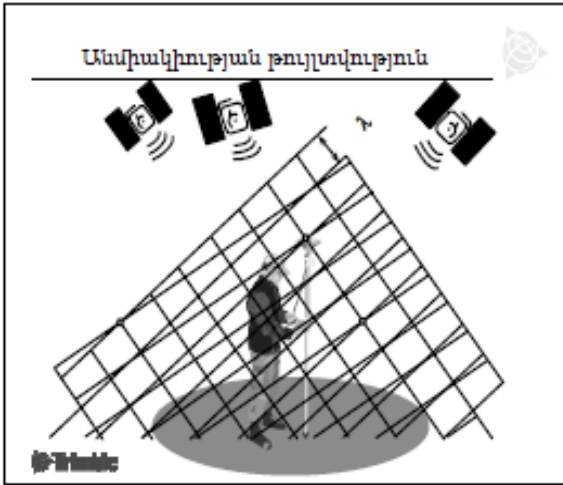
Ֆագերի տարբերության չափման մեթոդը օգտագործվում է ոչ միակության խնդրի լուծման համար:

Ոչ միակության թույլտվություն:

Ամբողջական լուծման գործընթացը կարելի է բաժանել հետևյալ փուլերի:

1. **Սկզբնական գնահատականով ամբողջականություն:** Այն հաշվարկվում է հաստատուն պսևոդոնոմիկությունների օգտագործմամբ: Այս գնահատականի սպասվող միջին սխալը որոշվում է ռովերի ալեհավաքի անորոշ դիրքի հարցումների քանակով: Ընդունվում է, որ այդ ծավալը պարունակում է միավորների 30 մատրիցա, որոնցից յուրաքանչյուրը կապված է թվերի կոմբինացիայով:

2. **Լավագույն կոմբինացիայի փնտրում:** Այն իրենից ներկայացնում է մի հաշվարկ, որն օգտագործում է բոլոր կոմբինացիաների լուծումը՝ ռովերի տեղադիրքի որոշման համար: Ճիշտ լուծումը անմիջապես երևում է ռովերում նշված լուծման արդյունքի որակական որոշ հատկանիշների հիման վրա: Նմանատիպ ցանկացած գործընթաց հնարավոր է միայն այն դեպքում, երբ տեսանելի են առնվազն հինգ արբանյակ:



Նկ. 9.4 Ոչ միակության թույլտվություն

**Քազային գծի լուծում :** Երբ լուծված են վերը նշված խնդիրները, բազային կայանից եղած հեռավորությունը կանոնակարգում է ռովերի դիրքը:

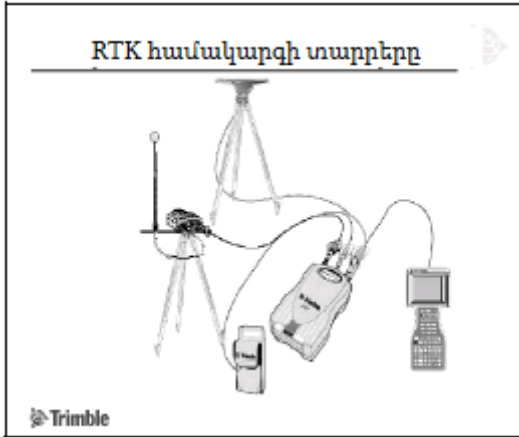
Բազային գծի լուծման փուլերը հետևյալն են.

- ֆազային տարբերության հաշվարկ,
- ֆազերի երկակիության ամբողջական լուծում և կիրառում,
- բոլոր ընդհանուր արբանյակների ճշգրիտ հեռավորությունների որոշում ռովերի դիրքի ճշտման համար,
- ֆիքսված բազային դիրքի և բազային կայանի դիտարկումների տրամադրում,
- բազային գծի հաշվարկ և դրա երկկողմանի ստուգում ռովերի և բազայի միջև:

**RTK համակարգի տարրերը:** RTK համակարգը կազմված է հետևյալ տարրերից՝

- GPS բազային կայան,
- GPS ռովեր(ներ),
- կապի միջոց բազայի և ռովերի միջև,
- GPS բազային կայանը և GPS ռովերը պետք է ներառեն՝

- GPS ընդունիչ,
- GPS ալեհավաք,
- կապի միջոց (ռադիո կամ բջջային կապ),
- կառավարման վահանակ,
- լիցքավորման աղբյուր,
- համապատասխան մալուխներ:



*Նկ. 9.5 RTK համակարգի տարրերը*

RTK բազային կայանը տեղադրվում է հայտնի կոորդինատներով կետի վրա և հեռարձակում իր տեղադիրքի և դիտարկումների տվյալները, որպեսզի իրական ժամանակում հնարավոր լինի ստանալ բազային գծի երկարությունը կայանի և ռովերի միջև: Որպես կանոն, RTK բազային կայանը կազմված է՝

- GPS ընդունիչից և ալեհավաքից,
- տվյալների հաղորդման կապուղուց,
- դիտարկումների կայուն դիրքից,
- լիցքավորման աղբյուրից,
- մալուխներից՝ բազային կայանի տարրերը միմյանց կապելու համար:

RTK ռովեր կայանը, որն օգտագործվում է կարճ ժամանակահատվածում (մի քանի վայրկյան) ցանկացած կետի կոորդինատի

որոշման համար, պետք է կապված լինի բազային կայանին կապուղիներով, իսկ տեղադիրքը որոշվում է ըստ բազային կայանի:

Ինչպես արդեն նշվել է, ռադիոկապով աշխատող մեկ բազային կայանը կարող է սպասարկել անթիվ ռովերների, իսկ բջջային կապով աշխատանքի դեպքում ռովերների թիվը պետք է սահմանափակվի:

Ռովեր կայանը կազմված է՝

- GPS ընդունիչից և պեհավաքից՝ կապուղու տվյալների ստացման համար,
- կառավարման վահանակից,
- պեհավաքի համար ձողից և պայուսակից,
- էներգիայի լիցքավորման աղբյուրից,
- մալուխից՝ ռովերի տարրերի միացման համար:

Ժամանակակից սարքավորումները, սակայն, մալուխի պահանջ չունեն, քանի որ դրանք միմյանց միանում են բլութուքի միջոցով:

### 9.1 Trimble R7 բազային և ռովեր կայան

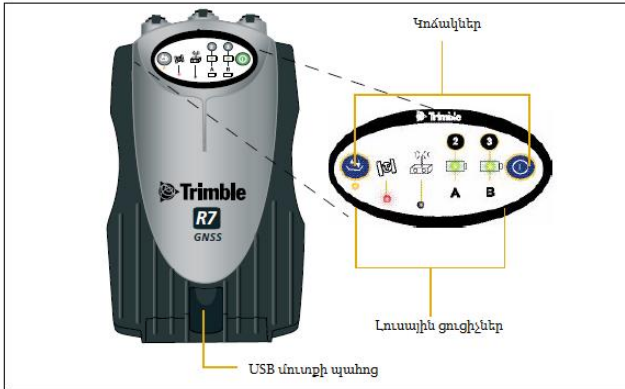
Ուսումնասիրենք Trimble R7 GNSS սարքավորումը, դրա տարրերը, օգտագործման առանձնահատկությունները:

Ընդունիչը կազմված է 4 հիմնական մասերից (նկ. 9.6):



Նկ. 9.6 Trimble R7 GNSS ընդունիչ

**Առջևի վահանակ:** Նկար 9.7-ում պատկերված է Trimble R7 GNSS ընդունիչի առջևի վահանակը: Այստեղ տեղակայված են 5 լուսային ցուցիչներ, երկու կոճակներ, հիշողության քարտի խցիկի ծածկոցը և USB մուտքի պահոց:



*Նկ. 9.7 Առջևի վահանակ*

Trimble R7 ընդունիչն ունի ընդամենը 2 կոճակ: Մեկը միացման և անջատման կոճակն է, մյուսը՝ տվյալների կոճակը [11]:

Աղյուսակ 9.3-ը բնութագրում է այդ երկու կոճակների հիմնական գործառնությունները:

**Երկու կոճակների հիմնական գործառնությունները**

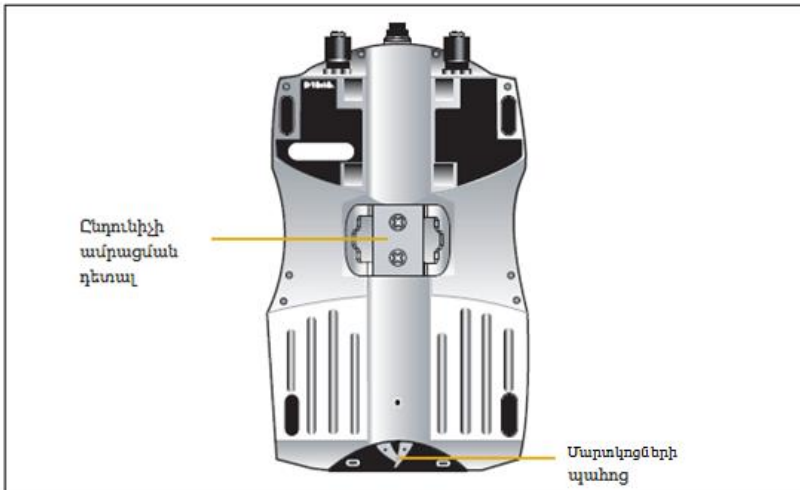
Աղյուսակ 9.3

Գործողություն	Սնուցման կոճակ	Տվյալների կոճակ
Ընդունիչի միացում	Մեղմել	
Անջատել ընդունիչը	Մեղմել 2 վրկ	
Տվյալների գրանցումը ընդունիչում		Մեղմել
Տվյալների գրանցման դադարեցում		Մեղմել 2 վրկ
Չնջել էֆմերիդային	Մեղմել 15 վրկ	

տվյալները		
Բերել ընդունիչը գործարանային վիճակի	Սեղմել 15 վրկ	Տվյալների կոճակ
Ջնջել գրանցված տվյալները	Սեղմել 30 վրկ	
Ջնջել հիշողության քարտի տվյալները	Սեղմել 30 վրկ	

**Լուսային ցուցիչներ:** Ընդունիչի ընթացիկ վիճակը բնութագրվում է լուսային ցուցիչներով: Որպես կանոն, լուսային ցուցիչների մշտական լուսավորությունը կամ դանդաղ թարթումը նշանակում է, որ ընդունիչն աշխատում է նորմալ, իսկ արագ թարթումը զգուշացնում է ընդունիչի վիճակի մասին:






**Հետևի վահանակ:** Նկար 9.8 –ում բերված է ընդունիչի հետևի վահանակը: Այստեղ տեղակայված են ընդունիչի ամրացման բնիկը և երկու մարտկոցների ծածկոցները:

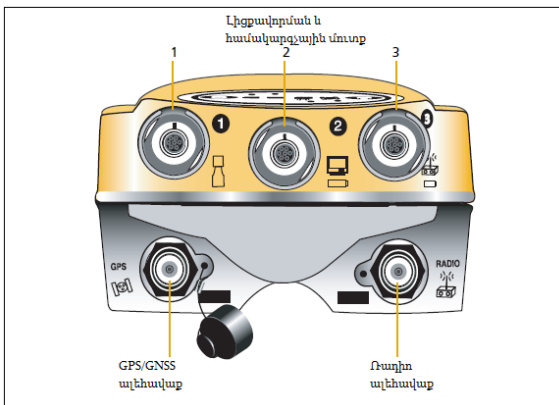


*Նկ. 9.8 Հետևի վահանակ*

**Վերևի վահանակ:** Նկար 9.9-ում պատկերված է ընդունիչի վերևի վահանակը, ուր տեղակայված են ընդունիչի բոլոր մուտքային «պորտերը», 2 TNC մուտքերը GNSS ռադիոալեհավաքի մուտքի համար: Վերևի վահանակի բոլոր մուտքերը ուղեկցվում են բացատրական նկարներով, որոնց բացատրագրերը բերված են աղյուսակ 9.4 ում:

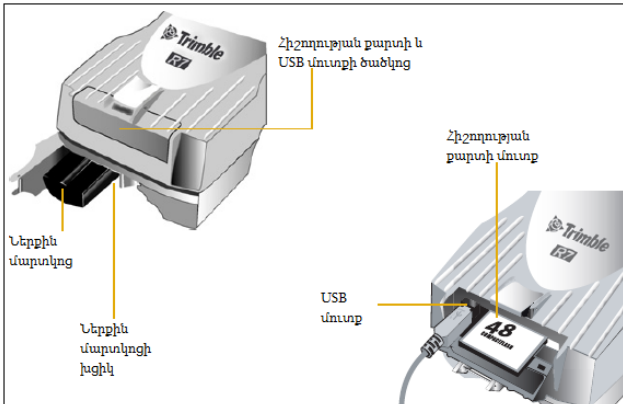
Աղյուսակ 9.4

Պատկեր	Անուն	Բացատրություն
	Port 1	Կառավարման վահանակ
	Port 2	Արտաքին սնուցում, համակարգիչ
	Port 3	Արտաքին ռադիո, լիցքավորում
	GPS	GPS/GNSS ալեհավաք
	RADIO	Ռադիո կապի ալեհավաք



Նկ. 9.9 Վերևի վահանակ

**Ներքևի վահանակ:** Ներքևի վահանակի վրա տեղակայված են USB մուտքը, CompactFlash քարտի մուտքը և երկու մարտկոցների բնիկը:



Նկ. 9.10 Ներքևի վահանակ

Trimble R7 GNSS ընդունիչը, չնայած պաշտպանիչ շերտի առկայությանը, խորհուրդ չի տրվում օգտագործել խոնավ պայմաններում:

*Պետք է խուսափել ագրեսիվ միջավայրում օգտագործումից, այդ թվում.*

- ջրում,
- +650c մինչև -400c ջերմաստիճանային սահմաններում,
- քայքայիչ հեղուկների և գազերի առկայության դեպքում:

*Պետք է խուսափել ընդունիչի օգտագործումից էլեկտրամագնիսական խոչընդոտների առկայության դեպքում, որոնցից են՝*

- ներքին այրման շարժիչը,
- հեռուստացույցը և մոնիտորը,
- փոփոխական հոսանքի գեներատորը,
- էլեկտրաշարժիչը,
- ազդանշանի ձևափոխման սարքը,
- ցերեկային լույսի աղբյուրները,
- էլեկտրական փոխարկիչները:

*Բազային կայանի աշխատանքի նախապատրաստման համար անհրաժեշտ է՝*

- Trimble R7 GNSS ընդունիչ,
- ալեհավաք Zephyr-Model 2 կամ Zephyr Geodetic-Model 2,
- ալեհավաքի մալուխ:



*Աշխատանքը սկսելու համար անհրաժեշտ է.*

- եռոտանու օգնությամբ ալեհավաքը կենտրոնավորել գեոդեզիական կետի վրա: Խորհուրդ է տրվում օգտագործել հատուկ եռոտանի հարթաչափով և կողմնացույցով,
- ամրացնել ալեհավաքը եռոտանու վրա,
- ամրացնել ընդունիչը եռոտանու վրա,
- հատուկ մալուխի օգնությամբ միացնել ալեհավաքը ընդունիչին:



*Նկ. 9.11 Trimble R7 GNSS քաղաքին կայան*

*Ռովեր կայանի աշխատանքի համար անհրաժեշտ է՝*

- հատուկ ձողի վրա ամրացնել RTK ալեհավաքը,
- ամրացնել ընդունիչը ձողի վրա կամ հատուկ պայուսակով կրել թիկունքում,
- ամրացնել Trimble TSC3 կառավարման վահանակը հատուկ բռնակով:



Նկ. 9.12 Trimble R7 ռովեր կայան

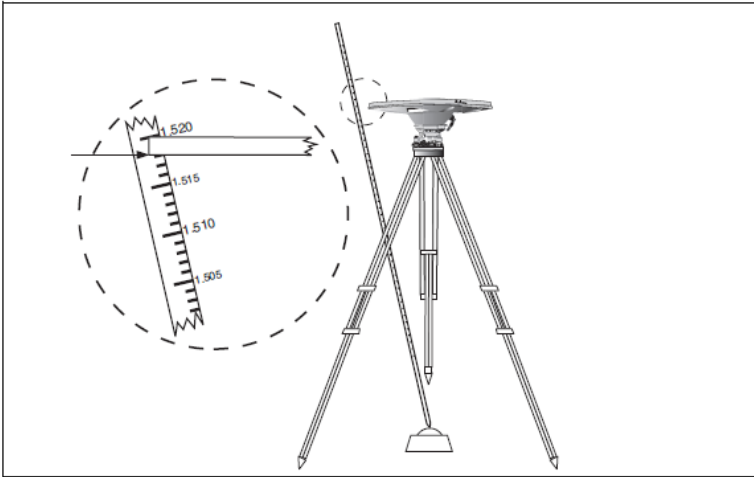
Արտաքին ռադիոնոդեմի աշխատանքի համար անհրաժեշտ է ունենալ էներգիայի մեկ այլ աղբյուր: Որպես այդպիսին կարող է ծառայել ավտոմեքենայի սովորական մարտկոցը [13]:

*Trimble R7 GNSS-ի և ռադիոնոդեմի աշխատանքի համար անհրաժեշտ է՝*

- ավեհավաքի մալուխը միացնել GNSS ընդունիչի համապատասխան մուտքին,
- արտաքին ռադիոնոդեմը միացնել ընդունիչի երրորդ մուտքին,
- ռադիոնոդեմը միացնել արտաքին էներգիայի աղբյուրին:

Այս ամենից հետո կառավարման վահանակի միջոցով տալիս ենք համապատասխան պարամետրերը և բազան պատրաստ է աշխատանքի:

**Ալեհավաք:** Trimble R7 GNSS ընդունիչի շահագործումը խորհուրդ է տրվում իրականացնել *Zephyr-Model 2* կամ *Zephyr Geodetic-Model 2* ավեհավաքների հետ, որոնք մշակված են հատուկ R7-ի հետ աշխատանքի համար:



Նկ. 9.13 Ալեհավաքի բարձրության չափում

Որպես կառավարման վահանակ կարելի է օգտագործել Trimble TSC3-ը: Այս վահանակն աշխատում է Windows օպերացիոն համակարգով և *Trimble Access* գեոդեզիական լուծումների ծրագրով:



Նկ. 9.14 Trimble TSC3 կառավարման վահանակ



*Նկ. 9.15 Trimble Access ծրագիր*

Ծրագիրն օգտագործման տեսանկյունից բավականին հեշտացված է և թույլ է տալիս օգտագործել կառավարման վահանակը միաժամանակ բոլոր էջերը բաց վիճակում, ինչը բավականին մեծացնում է արտադրողականությունը:

## Գրականություն

1. Global Positioning System, Standard Positioning System Service, Signal Specification, 2<sup>nd</sup> Edition, 1995  
<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>
2. NAVCEN: GPS SPS Signal Specifications, 2<sup>nd</sup> Edition, 1995,  
<http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/sigspec/gpssps1.pdf>
3. Lemme H.: Schnelles Spread-Spectrum-Modem auf einem Chip, Elektronik 1996, H. 15 p. 38 to p. 45
4. [http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote\\_number/1890](http://www.maxim-ic.com/appnotes.cfm/appnote_number/1890)
5. Parkinson B., Spilker J.: Global Positioning System, Volume 1, AIAA-Inc
6. Manfred Bauer: Vermessung und Ortung mit Satelliten, Wichman-Verlag, Heidelberg, 1997, ISBN 3-87907-309-0
7. B. Hofmann-Wellenhof: GPS in der Praxis, Springer-Verlag, Wien 1994, ISBN 3-211-82609-2
8. Elliott D. Kaplan: Understanding GPS, Artech House, Boston 1996, ISBN 0-89006-793-7
9. GPS-World, November 2003: Vittorini und Robinson: Optimizing Indoor GPS Performance
10. Global Positioning System: Theory and Applications, Volume II, Bradford W. Parkinson
11. Trimble R7-R5\_UserGuide
12. RTK Training RevD
13. TSC3 Getting Started Guide

# ԲՈՎԱՆԴԱԿՈՒԾՅՈՒՆ

Նախաբան-----	3
<b>1. Գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգեր-----</b>	<b>5</b>
1.1 Արբանյակային նավիգացիա-----	7
1.2 Արբանյակային նավիգացիայի հիմնական խնդիրները-----	9
1.3 Ազդանշանի անցման ժամանակը-----	11
1.4 Ժամանակի սխալի ազդեցությունները և ճշտումները-----	14
<b>2. GNSS տեխնոլոգիաները-----</b>	<b>16</b>
2.1 Համակարգի ամբողջական նկարագրությունը-----	16
2.2 Տարածական սեզմենտ-----	17
2.2.1 Արբանյակային տեղադիրքը և շարժումը-----	17
2.2.2 GPS արբանյակներ: Արբանյակների կառուցվածքը -----	19
2.2.3 Արբանյակային ալիքի առաջացումը-----	22
2.3 Կառավարման սեզմենտ -----	24
2.4 Օգտագործողների սեզմենտ-----	25
<b>3. GNSS Գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգեր (գործող և հեռանկարային արբանյակային համակարգեր GLONASS, GALILEO, COMPASS/BeiDou) -----</b>	<b>27</b>
3.1 GLONASS գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ-----	27
3.2 GALILEO գլոբալ նավիգացիոն արբանյակային համակարգ-----	30
3.2.1 GALILEO արբանյակային համակարգի ակնկալվող ծառայությունները-----	31
<b>4. GNSS արբանյակների թռիչքի հիմնական տեսությունը-----</b>	<b>36</b>
4.1 Արբանյակի անխափան շարժում -----	36
4.1.1 Անխափան շարժման դիֆերենցիալ հավասարումները և նրա առաջին ինտեգրալը-----	36
4.2 Ուղեծրի տարրերը և Կեպլերի օրենքը-----	40
4.3 Ուղեծրերի Կեպլերյան տարրերով ուղեծրերի արբանյակի տեղադիրքի և արագության հաշվարկ-----	45
4.4 Խանգարված շարժում-----	46
4.4.1 Խանգարված շարժման դիֆերենցիալ հավասարումներ -----	46
4.4.2 GNSS արբանյակների մատակարարումը էֆեմերիդաներով-----	51
4.4.3 Ճշգրիտ ուղեծրեր-----	51
<b>5. Տեղադիրքի հաշվարկ-----</b>	<b>53</b>
5.1 Տեղադիրքի հաշվարկ (տեղափոխում)-----	53

5.1.1 Ալիքի անցման ժամանակի չափման պայմաններ (պսևդոհեռավորության գնահատում)-----	53
5.1.2 Մխալների վերլուծություն և DOP-----	58
<b>6. Միջավայրի ազդեցությունը GNSS տվյալների տարածման վրա---</b>	<b>62</b>
6.1 Տարածման միջավայրը և դրա ազդեցությունը ռադիոալիքի վրա-63	
6.1.1 Երկրի մթնոլորտի կառուցվածքը-----	63
6.1.2 Ալիքների անդրադարձում, ռադիոալիքների տարածում և ցրող միջավայր-----	65
6.1.3 Ֆազային և խմբակային արագություն-----	67
6.2 Իոնոսֆերայի ազդեցությունը դիտարկումների պարամետրերի վրա-----	69
6.2.1 Իոնոսֆերային ուշացում -----	69
6.2.2 Ֆազային առաջընթաց և խմբակային ուշացում-----	70
6.2.3 Իոնոսֆերայի մոդելները-----	72
6.3 Տրոպոսֆերայի ազդեցությունը դիտարկումների պարամետրերի վրա-----	79
6.3.1 Էլեկտրամագնիսական ալիքների տարածումը տրոպոսֆերայում-----	79
6.4 Բազմուղիության բնույթը և հասարակ մոդելներ-----	80
<b>7. Կորրեկցիաների համակարգեր-----</b>	<b>85</b>
7.1 Երկրի ձևը-----	85
7.1.1 Լոկալ էլիպտիկներ և դրանց տվյալները-----	87
7.1.2 Համաշխարհային ռեֆերենց էլիպտիկ WGS-84-----	89
7.2 Անցումը տեղային ռեֆերենց էլիպտիկից համաշխարհայինին---	91
7.3 Կորրեկցիաների համակարգի ձևափոխում: Անցումը դեկարտյան համակարգից էլիպտիկի-----	93
7.4 Շրջանային կորրեկցիաներ և պրոյեկցիա-----	95
7.4.1 Գաուս-Կրյուգերի պրոյեկցիա-----	95
7.4.2 UTM պրոյեկցիա-----	98
<b>8. DGPS տեխնոլոգիա -----</b>	<b>100</b>
8.1 Կրող ֆազի չափման վրա հիմնված DGPS-----	103
8.2 Ճշտումների տվյալների հաղորդում-----	103
8.3 DGPS-ի դասակարգումը ըստ հեռարձակման շառավղի-----	105
<b>9. Կինեմատիկա իրական ժամանակում (RTK)-----</b>	<b>107</b>
9.1. Trimble R7 բազային և ռովեր կայան-----	116



**Ուսումնական հրատարակություն**

**Սուրեն Վլադիմիրի Թովմասյան**

**GNSS**

**ԳԼՈԲԱԼ ՆԱՎԻԳԱՑԻՈՆ ԱՐԲԱՆՅԱԿԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԵՐ  
ՈՒՍՈՒՄՆԱԿԱՆ ՁԵՌՆԱՐԿ**

**Suren Tovmasyan**

**GNSS**

**GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS  
EDUCATIONAL MANUAL**

**Կազմող՝  
Խմբագիր՝  
Գրախոսներ՝**

դասախոս  
տ.գ.թ., դասախոս  
տ.գ.թ., դոցենտ  
տ.գ.թ., դոցենտ

Ս.Վ. Թովմասյան  
Ե.Հ. Հայրապետյան  
Վ.Ա. Մարգարյան  
Պ.Ս. Էֆենդյան