ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

«ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу»

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

5В074600 – Ғарыш техникасы және технологиялары

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА РҰҚСАТ
«Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технология» кафедрасының меңгерушісі
_____ Таштай Е.
"27" 05 2022 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу»

5В074600 – «Ғарыш техникасы және технологиялары» мамандығы

Орындады
Сүлейменов С.Д.

Рецензент
М. Әуезов атындағы
Оңтүстік Қазақстан
Университетінің
Профессоры,
т.ғ.д. докторы
_____ Есмағамбетов Б.
қолы Т.А.Ә.
"27" 05 2022 ж.

Ғылыми жетекші
Техникалық ғылымдар
магистрі, Электроника,
телекоммуникация және
ғарыштық технология
кафедрасының лекторы
_____ Боранбаева А.
қолы Т.А.Ә.
"24" 05 2022 ж.

Алматы 2022

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

Электроника, телекоммуникация және ғарыштық технологиялар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
Кафедра меңгерушісі
_____ Е.Таштай
«21» XII 2021ж.

Дипломдық жұмыс орындауға
ТАПСЫРМА

Білім алушы Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы
Тақырыбы «ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу»
Университет ректорының «15» *желтоқсан 2021 ж. № 478-б бұйрығымен бекітілген.*
Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «30» сәуір 2022 ж.
Дипломдық жұмыстың бастапқы деректері: 1. Макаренко Н.О. Анализ современного состояния предприятий ракетнокосмической промышленности. // Менеджмент социальных и экономических систем, 2016, №4; 2. G. T. French, Understanding the GPS: An Introduction to the Global Positioning System, Baker GeoResearch, 1997; 3. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. Mohinder S.Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. John Wiley & Sons, 2001; 4. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. В. С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др.; Под ред. В. С. Шебшаевича.- 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Радио и связь, 1993. - 408 с.: ил.

Дипломдық жұмыстың бастапқы берілістері:
а) GPS пен ГЛОНАСС спутниктік желілерінің ерешеліктерін талдау
б) Спутниктік навигациялық жүйелердің өзара байланысын ұйымдастыру
в) ҒНСЖ сыртқы жобалау алгоритмдері және ішкі жобалау теориясы

дипломдық жұмысты (жобаны) дайындау

КЕСТЕСІ

Бөлімдердің атаулары, әзірленетін мәселелер тізбесі	**Ғылыми жетекшіге және консультанттарға ұсыну мерзімдері**	**Ескертпе**
1. ҒНСЖ ойлап табуының және дамуының маңыздылығы	1.09.2021-31.12.2021	Орындалды
2. Ғарыш спутниктерінің навигациялық мәселесін шешудің негізгі теориялық ережелері	1.01.2022-30.01.2022	Орындалды
3. GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу	1.02.2022-15.02.2022	Орындалды
4. Дипломдық жұмысты жазу	15.04.2022-30.04.2022	Орындалды

Қолтаңбалар

аяқталған дипломдық жұмысқа консультанттар мен нормобақылау,
оларға қатысты жұмыстың бөлімдері көрсетіле отырып

Бөлімдердің атаулары	Кеңесшілер, Ф.И.О. (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
ҒНСЖ ойлап табуының және дамуының маңыздылығы	Боранбаева А.Т. ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м.	27.05.22	
Ғарыш спутниктерінің навигациялық мәселесін шешудің негізгі теориялық ережелері	Боранбаева А.Т. ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м.	27.05.22	
GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу	Боранбаева А.Т. ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м.	27.05.22	
Нормобақылау	Ибекеев С.Е. ЭТжҒТ каф.лекторы, т.ғ.м.	27.05.2022	

Ғылыми жетекші Боранбаева А.

Тапсырманы білім алушы орындауға қабылдады Сүлейменов С.

«21» ..12.. 2021 ж

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыста ұсынылған сыртқы және ішкі жобалаулар, түрлі деңгейдегі радионавигациялық спутниктік жүйелердің жұмыс істеу принциптерін жетілдіру үшін арналған. Орбита топтарының үздіксіз функционалдық жақсартуларының шығуы, спутниктік навигациялық жүйелері мен байланыс жүйелерінің прогрессивті пайдалану және жақсарту көрсеткіші болып табылады. Бұл дипломдық жұмыста қазыргі таңда бар радионавигациялық спутниктік жүйелерге (GPS, ГЛОНАСС) теориялық талдау жасалған және артықшылықтары мен кемшіліктері көрсетілген. Талдаудың бұл түрін жүргізу, қолданыстағы орбита топтарының түрлерін одан әрі жетілдірудің өзекті тәсілдерін анықтауға мүмкіндік береді.

АННОТАЦИЯ

В рамках дипломной работы предлагаемые совместные подходы внешнего и внутреннего проектирования призваны для совершенствования принципов функционирования, существующих спутниковых радионавигационных систем на разных уровнях. Непрерывное функциональное развивание орбитальной группировки (ОГ) считается показателем прогрессивного использования и улучшения характеристик спутниковой навигации и связи. В данной дипломной работе проведён теоретический анализ существующих СРНС (GPS, ГЛОНАСС,), их принцип функционирования с выделением преимуществ и недостатков. Проведение такого рода анализа позволяет выделить актуальные подходы к дальнейшему совершенствованию существующего вида ОГ.

ANNOTATION

As part of the thesis, the proposed joint approaches of external and internal design are designed to improve the principles of functioning of existing satellite radio navigation systems at different levels. The continuous functional improvement of the orbital constellation is an indication of the progressive use and improvement of satellite navigation and communications performance. In this thesis, a theoretical analysis of the existing SRNS (GPS, ГЛОНАСС) was carried out, their principle of operation, highlighting the advantages and disadvantages. Carrying out this kind of analysis allows us to identify relevant approaches to further improvement of the existing type of orbital constellations.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе		9
1	ҒНСЖ ойлап табуының және дамуының маңыздылығы	11
1.1	GPS ғаламдық навигациялық спутниктік жүйесі	12
1.2	ГЛОНАСС ғаламдық навигациялық спутниктік жүйесі	15
1.3	GPS және ГЛОНАСС айырмашылықтары, ерекшеліктері	17
2	Ғарыш спутниктерінің навигациялық мәселесін шешудің негізгі теориялық ережелері	19
2.1	ҒНСЖ навигациялық аппараттар орбитасының параметрлері	19
2.2	Жер бетіне қатысты НҒА қозғалысы	22
3	GPS қабылдағышы қабылдайтын сигналдардың параметрлерін есептеу	26
3.1	Жердегі тұтынушылар қабылдайтын радионавигациялық өріс қуатын есептеу	26
3.2	GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу	28
4	ҒНСЖ сыртқы жобалау алгоритмдері және ҒНСЖ ішкі жобалау теориясы	39
4.1	Навигациялық мақсаттарды шешу жолдары	40
4.2	Спутниктік радиосигналдарды өңдеу әдістері	41
4.3	ҒНСЖ навигациялық ғарыш аппаратының ішкі жобалау теориясы	41
4.4	Өзара көріну, радиокөріну аймағының ауданы есебі	45
Қорытынды		47
Пайдалынған әдебиеттер тізімі		48
Қабылданған терминдер тізімі, қысқартулар тізімі		50

КІРІСПЕ

Стратегиялық маңызды аумақтарды дамыту экономиканың ең маңызды векторы болып табылады. Жер бетін қолайлы навигациямен қамтуды табысты жүргізу үшін оны толықтай навигациямен қамтамасыз ету керек, навигацияның қол жетімділігі мен дәлдігін сақтау керек және жақсарту керек. Қазіргі таңда спутниктік радионавигациялық жүйелерде қолданылатын алгоритмдер мен шешімдер арқылы бірқатар тапсырмаларды ойдағыдай орындамайды. Мысалға солтүстік ендікте орналысқан объектілердің орындарын үлкен қателікпен көрсетеді. Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйеге жататын ірі ғарыш кешендеріне: ГЛОНАСС (Ресей), NAVSTAR/GPS (АҚШ), GALILEO (ЕС), BEIDOU (ҚХР). Аймақтық спутниктік жүйелерге жататын ғарыш кешендері: QZSS (Жапония) , IRNSS (Үндістан). Спутниктік навигация жүйелері жоғары дәлдікпен уақыт – кеңістіктік координаттарын, статикалық және динамикалық объектерінің жылдамдықтарын анықтап, бірқатар тапсырмаларды шешуге мүмкіндік алады:

-төтенше жағдайларға карсы іс-қимылдар;

-көлік мониторингі;

-геодезия саласында жоғары дәлдіктікпен өлшеу;

-ақпараттық, коммуникациялық технологияларын және байланыс жүйелерін ұйымдастыру.

Бұл дипломдық жұмыс ғарыш аппараттарының ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді жобалау (сыртқы және ішкі) кезіндегі өзекті мәселерді қозғайды. ҒНСЖ – ның дамыту және жаңарту кезіндегі сыртқы жобалауында, навигациялық ғарыш аппаратарынан алынған ақпаратты өңдеу алгоритмдерін әзірлеу мен талдауды қарастырады.

Көптеген жалғасып жатқан радионавигациялық спутниктік жүйелердге техникалық қызмет көрсету, дамыту және пайдалануға бойынша зерттеулерге қарамастан, ғарыш аппаратының радионавигациялық аппаратурасының деректеріне негізделген жоғары орбиталық ғарыш кешені (ӘҒК) негізінде навигациялық ғарыш аппаратарының қозғалыс параметрлерін анықтаудың іргелі мүмкіндігі, және тұтынушының қабыладау құрылғыларына енгізілген, ең қолайлы алгоритмдік конфигурация туралы сұрақтар туындайды. Бұрын жасалған ақпаратты өңдеу алгоритмдері жақын орбиталарда орналысқан навигациялық ғарыш аппаратарының сегменттерінің әрекеттесуі үшін жазылған. Дегенмен, навигациялық спутниктік жүйелердің модификацияларымен байланысты көп зерттеулер, ғарыш кешендерінің жерүсті сегментін жақсартуға бағытталған. Қарастырылып отырған дипломдық жұмыста әртүрлі орбиталарда, бір-бірінен түрлі қашықтағы ғарыш аппараттарының ақпараттық өзара әрекеттесу тәсілдері ұсынылған. ҒНСЖ ғарыштық аппаратарының жұмыс істеу сенімділіктерін арттыру мәселесі әрқашан өзекті болып табылады және ғарыш аппараттары жүйелерінің ең

жақсы жұмыс істеу логикасын табу үшін, ең жақсы құрылымды таңдау болып табылады.

Жұмыс мақсаты ақпаратты алгоритмдік өңдеу негізінде, навигациялық ғарыштық аппаратардан түсетін ақпаратты тұтынушылардың радионавигациялық жабдығына, ғаламдық спутниктік жүйелердің дәлдікпен көрсетуін және тұтастығын сақтау болып табылады.

1 ҒНСЖ ОЙЛАП ТАБУЫНЫҢ ЖӘНЕ ДАМУЫНЫҢ МАҢЫЗДЫЛЫҒЫ

Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйенің (ҒНСЖ) ойлап табуының және дамуының маңыздылығына баға беру үшін негізгі тенденцияларды түсіну қажет: спутник жүйелердің дамуын бағалау, жұмыс істейтін орбита топтарын сенімді жолдармен және жақсартулармен қамтамасыз ету, жұмыс істейтін глобальді және аймақтық навигациялық спутниктік жүйелерді өзара салыстыру.

Бірінші орында спутниктік жүйелерді модернизациялауды, аса дәлдікпен есептеуді қажет етеді. Модернизацияны жүзеге асыру үшін дицеметрлік дәлдік деңгейімен қамтамасыз ету керек. Спутниктік топтар жұмыс істеу мерзімі кепілдігін өтей алу үшін оны әрдайым бақылауда ұстау қажет, және қандай да бір қателіктер немесе істен шығулар байқалса, тез арада оларды қалпына келтіру қажет.

Спутниктерді жетілдіру анализі негізінде, 2 негізгі бағытта қарастыруға болады:

1) Ғаламдық навигациялық жүйенің сипаттамаларын жақсарту (қол жетімділік пен қиын жағдайлар да дәлдікпен көрсету) мақсатында орбита топтарының құрамын кеңейту және сақтау керек;

2) Ғаламдық навигациялық жүйелерді азаматтық тұтынушылар үшін дәлдікті және жеке аумақтарда тұтастықтығын сақтау мақсатында, жоғарғы орбита кешендерін құрастыру болып табылады.

Бірінші бағыт «Global Positioning System» (G.T. French) [1], «Global Positioning Systems, Inertial Navigation and Integration» [2] (M.S. Grewal, L.R. Weill, A.P. Andrews), «Сетевые спутниковые радионавигационные системы» (В.С. Шебшаевич) [3] еңбектерінде толық жазылған [4, 5, 6]. Ол ғаламдық GPS спутниктерді толықтыру стратегиясының бөлігі ретінде жүзеге асырылды. Негізгі идея спутниктердің функционалдық мүмкіндіктерін кеңейту және жұмыс барысындағы мүмкін болатын сәтсіздіктерден қорғау мақсатында, жаңа спутниктерді ескі спутниктерге жақын ұстау болып табылады. Дегенмен де, болашақта бұл, геометрия тұрғысынан топтастыруларына шектеулерге әкеледі. Осылайша, АТО-да (ақпараттық-талдау орталығы) жүргізілген радиолокациялық өріс сипаттамаларының талдауларына зерттеу жүргізу нәтижесінде, орбита топтарындағы спутниктердің санын көбейту арқылы, радиолокациялық өріс сипаттамаларын жақсартуға және тек барлық географиялық ендіктерде навигацияның қолжетімділігін арттыру мүмкін еместігін анықтады.

Поляр маңында тұрақты навигациялық жүйемен қаматасыз етудің екінші бағытын жүзеге асыруға болады: ғаламдық навигациялық спутниктік жүйеде, жоғарғы орбита сегментін жасауға және оны қосымша аймақтық спутниктік навигациялық жүйе ретінде қолдануға болады. Теориялық тұрғыдан навигациялық өрісті көтеруге мүмкіндік береді. [7, 8, 9]. Жоғарғы эллиптикалық спутниктер де,

геостационарлық спутниктер де аймақтарды қамтитын қасиетке ие спутниктер. Эллиптикалық спутниктер мен геостационарлық спутниктердің айырмашылығы, жоғарғы эллиптикалық спутниктер үлкен бақылау бұрышына (90°- ға дейін) ие және жоғары ендік аймақтарындағы қолданушыларға, ірі қалалық агломерацияларында, қабылданатын сигналдардың көпсәулелі шағылысу шарттарында да қол жетімді. [10].

Навигацияның дәлдігін арттыру шарттарын орындау барысында, практикалық іске асырудың жоқтығынан, келесі аспектілер бойынша сұрақтар туындауы мүмкін:

– Навигациялық спутниктік жүйелерден түскен сигналдарды, ғарыш аппаратының радионавигациялық аппаратурасының көмегімен, ақпаратты өңдеу мүмкіндігіне ие.

– Жоғарғы эллиптикалық сегмент пен қолданыстағы ғаламдық навигациялық жүйені сенімді, үйлесімді жолмен өзара әрекеттестіру.

Навигациялық спутниктік жүйелерден алынған ақпаратты өңдеудің жалпы мәселелері осы кітаптарда жазылған: «Определение движения по 8 результатам измерений» (П.Е. Эльясберг) [11], «Основы статистической обработки траекторных измерений» (Б.Ф. Жданюк) [12], «ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования» (А.И. Петров, В.Н. Харисов) [13]. Осы еңбектерде көрсетілген ақпаратты өңдеу алгоритмдері, жақын орбиталарда орналысқан навигациялық ғарыш аппараттарының арасындағы өзара әрекеттесу жағдайлары үшін қарастырылды. Бір-бірінен алыс орналысқан ғарыштық аппараттар (басқа орбиталарда орналасу қашықтығымен) үшін сиппаталған алгоритмдер тексерісті керек етеді және мүмкіншілік болса, келесіде түзеуді немесе қолдануды қажет етеді.

Бұл дипломдық жұмыс ғарыш аппараттарының ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерді жобалау (сыртқы және ішкі) кезіндегі өзекті мәселерді қозғайды. ҒНСЖ – ның дамыту және жаңарту кезіндегі сыртқы жобалауында, навигациялық ғарыш аппаратарынан алынған ақпаратты өңдеу алгоритмдерін әзірлеу мен талдауды қарастырады.

1.1 GPS ғаламдық навигациялық спутниктік жүйесі

GPS (ағылш. *Global Positioning System* ғаламдық позициялау жүйесі) — уақыт, аралық пен орналасу нүктелерін анықтауға арналған Американдық навигациялық спутниктік жүйесі. Жер шарының кез келген нүктесінде (полярлық аймақты санамағанда), кез келген ауа-райы шарттарында, сонымен қатар планетаның ғарыштық аймағында дененің жүру жылдамдығы мен орнын анықтай алатын қасиетке ие. GPS навигациялық спутниктік жүйесін толықтай АҚШ-тың Қорғаныс министрлігі жасап шығарған. Қазіргі таңда азаматтық

қолданыста кеңінен орын тапты. Азаматтық қолданыста GPS, навигатормен және басқа да құрылғылармен қолдану (барлық GPS қабылдағышы бар құрылғылар) үшін керек. Жүйені пайдаланудың негізгі принципі тұтынушының антеннасы арқылы навигациялық спутниктерден синхрондалған сигналды қабылдау мен уақыт нүктелерін өлшеу арқылы орынды анықтау болып табылады. Үш өлшемдік координаталарын (x,y,z) анықтау үшін GPS- қабылдағышқа төрт теңдік қажет: $|r - a_j| = c(t_j - \tau)$

Мұндағы:

a_j — j–ші спутниктің радиус векторы,

t_j — сигналды қабылдау уақыты,

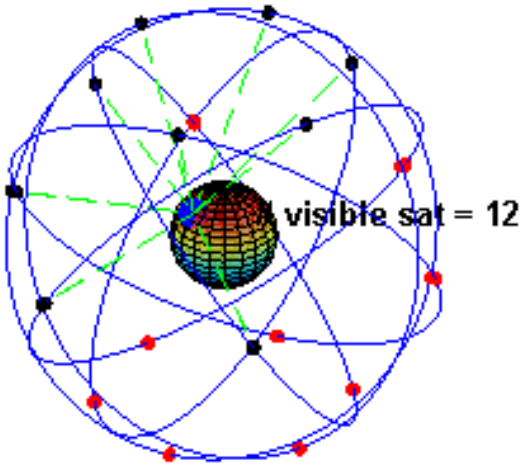
τ — тұтынушының сағатына сәйкес барлық спутниктік синхронды сигнал шығару уақытының белгісіз нүктесі,

c — жарық жылдамдығы,

r — белгісіз тұтынушы радиусы векторы.

NAVSTAR спутниктік топтары бірдей биіктікте және бірдей периодпен, Жер шарын дөңгелек орбиталар бойымен айналады. Биіктігі шамамен 20 200 км (орбита радиусы шамамен 26 600 км) дөңгелек орбитаны, тәуліктік еселікпен орбитаны айналу кезеңі 11 сағат 58 минут. Солайша, спутник бір жұлдызды күнде (23 сағат 56 минут) Жерді екі рет айналып шығады. Яғни, жерсеріктік нүктенің жер бетіндегі бір нүктенің қатарынан екі рет өтуі арасындағы уақыт шамамен 23 сағат 56 минутқа тең. Орбиталық көлбеу (55°) жүйедегі барлық жерсеріктерге де ортақ. Спутниктердің орбиталарының арасындағы жалғыз айырмашылық - көтерілетін түйіннің бойлығы немесе спутник орбитасының жазықтығы экватормен қиылысу нүктесі. бұл нүктелер шамамен 60 градус қашықтықта орналысады. Осылайша, бірдей (өсетін түйіннің бойлығын қоспағанда) орбиталық параметрлеріне қарамастан, жер серіктері Жерді алты түрлі жазықтықта, әрқайсысында 4 спутниктен айналады.

1.1 Сурет - Түрлі навигациялық жүйелердің орбиталарын салыстыру



1.2 Сурет - GPS спутниктерінің орбиталары.

GPS үш негізгі сегменттен тұрады: кеңістік, басқару және пайдаланушы. GPS спутниктері ғарыштан сигнал таратады және барлық GPS қабылдағыштар нақты уақыт режимінде үш координаттағы кеңістіктегі орнын есептеу үшін осы сигналды пайдаланады. Ғарыш сегменті жерді айналып өтетін 32 спутниктен тұрады. 2021 жылғы 05 шілдедегі жағдай бойынша 32 ғарыш аппараты мақсаты бойынша пайдаланылуда. Басқару сегменті негізгі басқару станциясынан және бірнеше қосымша станциялардан, сондай-ақ жер үсті антенналарынан және бақылау станцияларынан тұрады, аталған ресурстардың кейбірі басқа жобалармен ортақ пайдаланылады.

Орбиталық ұшуларды басты басқару станциясы және 10 бақылау станциясы бақылайды. Негізгі станция Колорадо штатындағы Falcon әуе күштерінің базасында орналасқан. Қалған бақылау станциялары американдық Колорадо-Спрингстегі әскери базаларында, Гавайи аралдарында, Вознесения, Диего Гарсия, Кважелейн орналасқан. Вознесения, Диего-Гарсиядағы, Кважелейндегі станциялар 2000-4000 МГц жиіліктегі радиосигнал түрінде спутниктерге түзету деректерін жіберуге қабілетті. Соңғы буын жерсеріктері алынған деректерді басқа жерсеріктермен бөлісе алады.

1.1.1 GPS спутниктерін қолданататын салалары

GPS жобасы бастапқыда әскери мақсатқа бағытталғанына қарамастан, бүгінде GPS азаматтық мақсатта кеңінен қолданылады. GPS қабылдағыштары көптеген электроника дүкендерінде сатылады және ұялы телефондарда, смартфондарда, қол сағаттарында, PDA құрылғыларында кеңінен қолданылады. Сондай-ақ тұтынушыларға электрондық картада орналасқан жерін көруге

мүмкіндік беретін әртүрлі құрылғылар мен бағдарламалық өнімдер ұсынылады: жол белгілерін, рұқсат етілген бұрылыстарды және тіпті кептелістерді ескере отырып, маршруттарды салу мүмкіндіктеріне ие. Сонымен қатар картадан нақты үйлер мен көшелерді, аттракциондарды, кафелерді, ауруханаларды, жанармай құю станцияларын және басқа инфрақұрылымдарды табу мүмкіндіктері бар. GPS-пен қолданатын салалар:

- Геодезия: GPS көмегімен нүктелердің нақты координаттары мен жер шекаралары анықталады.
- Картография: GPS азаматтық және әскери картографияда қолданылады.
- Навигация: GPS көмегімен теңізде де, жолда да навигация жүзеге асырылады.
- Көлікті спутниктік бақылау: GPS көмегімен автокөліктердің орналасуы мен жылдамдығы бақыланады, олардың қозғалысы бақыланады.

-Ұялы байланыс: GPS бар алғашқы ұялы телефондар 90-жылдары пайда болды. Кейбір елдерде, мысалы, АҚШ-та 911 жедел нөміріне қоңырау шалған адамның орнын жылдам анықтау үшін GPS қолданылады. Ресейде 2010 жылы осыған ұқсас ЭРА-GLONASS жобасы іске қосылды.

-Тектоника, плиталардың тектоникасы: плиталардың қозғалысы мен тербелістерінің GPS көмегімен бақылау.

- Демалыс іс-шаралары: GPS-пен қолданылатын әртүрлі ойындар бар.

1.2 ГЛОНАСС навигациялық спутниктік жүйесі

ГЛОНСС — Ресейлік спутниктік навигация жүйесі. Жүйе әлемнің кез келген жерінде қолжетімді азаматтық сигналдарды қабылдайды, навигациялық қызметтерді тегін және шектеусіз ұсынады. Бастапқыда әскери мақсатта болған ГЛОНАСС жүйесі 1982 жылы зымырандық шабуыл туралы ескерту жүйесімен (ЗШТЕЖ) бір мезгілде жердегі, теңіздегі, әуедегі және ғарыштық пайдаланушылардың шексіз санын жедел навигациямен қамтамасыз ету үшін іске қосылды. Жүйе орбиталық жазықтықтардың көлбеулігі 64,8° және орбиталық биіктігі 19100 км болатын үш орбиталық жазықтықта, Жер бетінен жоғары қозғалатын 24 спутникке негізделген. ГЛОНАСС жобасын әзірлеумен «Роскосмос», академик М.Ф.Решетнев атындағы АҚ «Ақпараттық спутниктік жүйелер» және АҚ «Ресей ғарыш жүйелері» айналысады.

1.2.1 ГЛОНАСС навигациясы және оның дәлдігі

ГЛОНАСС спутниктері орташа биіктіктегі дөңгелек орбитада 19 400 км биіктікте 64,8° көлбеу және 11 сағат 15 минут период аралығымен орналасқан. Бұл

орбита жоғары ендіктерде, солтүстік және оңтүстік полярлық аймақтарда пайдалану үшін оңтайлы болып табылады. Спутниктік топ үш орбиталық жазықтықта орналасқан, олардың әрқайсысында біркелкі бөлінген 8 спутниктен тұрады. Ғаламдық қамту үшін 24 спутник қажет болса, Ресей аумағын қамту үшін 18 спутник қажет. Сигналдар оң жақ шеңберлі поляризацияны пайдаланып 38° бағытымен беріледі, қуаты 316-500 Вт (EIRP 25-27 дБВт). Координаталарды анықтау үшін қабылдағыш кем дегенде төрт спутниктен сигнал алып, оларға дейінгі қашықтықты есептеуі керек. Координаталарды үш спутниктің көмегімен тапқан кезде қиындықпен (қателікпен) көрсету себебі, сағат қабылдағыштарының әртүрлігі болып табылады.

2012 жылғы 18 қыркүйектегі СДКМ деректеріне сәйкес, бойлық пен ендік бойынша ГЛОНАСС навигациялық анықтамаларының қателігі (p = 0,95) орташа есеппен 7–8 м, ғарыштық аппаратты (қабылдау нүктесіне байланысты) пайдалану кезінде 3–6 м құрайды. ГЛОНАСС жүйесі объектінің орналасуын 2,8 метрге дейінгі дәлдікпен қамтамасыз етеді. 2015 жылға қарай позициялау дәлдігін 1,4 метрге дейін, 2020 жылға қарай 0,6 метрге дейін, одан әрі 10 см-ге дейін арттыру жоспарланған болатын. 2021 жылға қарай бұл мақсаттардың ешқайсысы орындалмады.

ГЛОНАСС негізіндегі жоғары дәлдіктегі позициялау технологиялары қазірдің өзінде әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады. Осылайша, қолданбалы телематика ғылыми-зерттеу институтының мамандары навигация саласы үшін бірегей шешім тапты — нақты уақыт режимінде жол инфрақұрылымы объектілерінің және көшкін геомассаларының жылжуын бақылайтын күрделі инженерлік құрылыстардың жай-күйін қашықтықтан бақылау жүйесін әзірледі. Төтенше жағдайлардың туындауына жеделден байқау ғана емес, оларды алдын ала болжауға, жол құрылыстарындағы ақаулардың пайда болуын дер кезінде анықтауға мүмкіндік береді. Жүйе М27 Джубга-Сочи федералды тас жолының Хоста эстакадасы аймағында (194-196 км учаскесі) ең қауіпті және құрылымдық элементтердің беріктігі бойынша қиын учаскесінде енгізілді және сәтті сынақтан өтті.

1.2.2 Дифференциалды түзету және бақылау жүйесі

Ресей шетелде ГЛОНАСС навигациялық жүйесінің дәлдігі мен сенімділігін арттыру үшін дифференциалды түзету және бақылау жүйесінің станцияларын орналастыру жұмыстарын бастады. Алғашқы шетелдік станция Антарктидада Беллингсгаузен станциясында салынды және сәтті жұмыс істейді. Солайша, ГЛОНАСС ғарыш аппараттарының навигациялық өрістерін үздіксіз жаһандық бақылау үшін қажетті жағдайларды қамтамасыз етеді. 2014 жылғы ақпарат бойынша жерүсті станциялар желісі Ресейде 14 станция, Антарктидада бір станция және Бразилияда бір станция қызмет етеді. Жүйені дамыту үшін Ресейде қосымша

8 станцияны және шетелдерде бірнеше станцияны орналастыруды қарастыруда (қосымша станциялар Куба, Иран, Вьетнам, Испания, Индонезия, Никарагуа, Австралия, екеуі Бразилияда және басқа елдерде орналасады, тағы біреуі Антарктидаға орналастырылады). 2018 жылы Армения Республикасында, В.А.Амбарцумян атындағы Бюракан астрофизикалық обсерваториясында біртұтас ГЛОНАСС өлшемдерін жинау станциясын ашылды. 2020 жылы бірыңғай өлшемдерді жинау станцияларының желісі Ресей мен көршілес мемлекеттердің аумағын қамтыды және Ресей Федерациясының аумағында орналасқан, 56 станциядан және шетелде 12 ӨЖБСЖ құрады.

ГЛОНАСС жүйелері әскери мақсатта қолданылуы мүмкін деген қауіппен, АҚШ Мемлекеттік департаменті Роскосмосқа американдық жерде бірнеше ресейлік өлшеу станцияларын салуға рұқсат беруден бас тартты. АҚШ-та ГЛОНАСС станцияларын орналастыруға нақты тыйым салу туралы заңға 2013 жылдың 30 желтоқсанында қол қойды. Осыған орай, 2014 жылдың 1 маусымынан бастап Ресей Федерациясының аумағында GPS жүйесіне арналған станциялардың жұмысы тоқтатылды. Бұл шешім Ресейде әлі жұмыс істеп тұрған 19 IGS өлшеу станцияларына да қатысты. IGS станциялары GPS жүйесін басқаруға арналмаған және ғылыми орталық болып табылады. Америка Құрама Штаттарында ГЛОНАСС деректерін нақты уақытта жіберетін көптеген станциялар бар. Бұл станциялардың деректері жалпыға қолжетімді.

1.3 GPS және ГЛОНАСС айырмашылықтары, ерекшеліктері

Спутниктік навигация жүйелерін құру, дамыту жөніндегі GPS (АҚШ) және ГЛОНАСС (Ресей) технологияда революциялық өзгеріс енгізіп, позициялау және навигацияның дамуын көрсетеді.

GPS пен ГЛОНАСС жүйелерінің бірінші рет қызметке 1978 бен 1982 жылы қосылды.

GPS пен ГЛОНАСС жүйелерінде ұқсас жұмыс істеу принципі бар - диапазондарды өлшеуі пассивті (сұраныссыз).

Навигациялық жүйелердің арасындағы өзгешелік - GPS жүйесі алты орбитада орналасып, 24 спутникке негізделген және 55 ° орбиталық иілу бұрышында орналаса отырып, кодты бөлуді пайдаланады. ГЛОНАСС жүйесі үш орбитада 24 спутниктен, әр орбитада 8 спутниктен, көлбеуі 64,8°, сағат жиілігі мен уақыт сигналдарын бөледі. Бүгінгі күні ГЛОНАСС координаттарын анықтаудағы қате GPS-тен біршама үлкен: 2 - 4 метрге қарсы 3 - 6 метр. Екі жүйенің спутниктерінің сигналдарын бірден пайдалану, дәлдікті күрт арттырады - бұл жағдайда орташа қате 1,5 - 3 метрден аспайды. ГЛОНАСС-тың тағы бір кемшілігі бар - жүйенің навигациялық сигналы әлемнің барлық бөліктерінде қол жетімді емес.

Ал GPS әлемнің барлық бетін қамти алады. Дегенмен, бұл мәселе болашақта жаңа жерүсті станцияларын салу және басқа да техникалық шешімдерді қабылдау арқылы шешілетін болады.

GPS пен ГЛОНАСС жүйелерінде орбита бұрыштарының көлбеуін салыстыру барысында, ГЛОНАСС жүйесі полюс өңірлерін үздік қамтумен қамтамасыз етеді. 2-кестеде GPS пен ГЛОНАСС навигациялық жүйелерінің маңызды сипаттамалары көрсетілген [14].

GPS пен ГЛОНАСС жүйелері екі түрлі класс қызметтерінің қажеттілімен қамтамасыз ете алады: әскери және азаматтық пайдаланушылар үшін тура орналасқан нүктені анықтау қызметтері (PPS), сонымен қатар барлық басқа пайдаланушылар үшін стандартты орналасқан жерді анықтау қызметтері (SPS).

Осы жүйелердің арасындағы негізгі айырмашылық ретінде өлшеу дәлдігі болып есептеледі. Орналасқан нүктені анықтау қызметінің пайдаланушылары спутниктерден берілетін екі жиіліктік Р кодын пайдалана отырып, қашықтықты өлшейді.

Орналасқан нүктені анықтау қызметінің пайдаланушылары SA кодтарына қол жеткізе алады, жерсеріктік эфемерид пен жерсеріктік синхросигнал генераторларының енгізілген қателіктерін болдырмауы мүмкін.

Олар SA-процедурасы бойынша әдейі енгізілген қателерді жоққа шығара алмайды. Бұл қателіктер SA болмаған кезде 7 метр дәлдігінің алдында орналасқан жерді стандартты анықтау қызметтері үшін қашықтықты өлшеу дәлдігін шектейді.

ГЛОНАСС жүйесін пайдалану барысында SA процедурасы болмайды. Дегенмен, бақыланған спутниктердің тобы жылдам өзгергенде, GPS-ГЛОНАСС өлшеу шуының күтпеген секірулері орын алады. Қателесуі жүздеген метрге жетуі де ықтимал. Секірістерді жоғалту үшін арнайы адаптивті алгоритм жасалады.

1.1 Кесте – ГЛОНАСС және GPS спутниктерін салыстыру

Сипаттама	**ГЛОНАСС**	**GPS**
ҒА саны	24	24
Орбиталық жазықтықтар саны	3	6
Орбитада спутниктер саны	8	4
Қателігі, м	3-6	2-4
Жер бетін қаптау	Бүкіл Ресей Федерациясы және планетаның 2/3 бөлігі	Дүние жүзінің шамамен 100%
Белсенді өмір сүру ұзақтығы, жыл	7	7,5

Сондай-ақ, бүгінгі күні көптеген қауымдастықтар GPS-ГЛОНАСС бірлескен қабылдағыштарын дайындап, әзірлейді. GPS пен ГЛОНАСС бірлескен аппаратурасын құру арқылы, навигациялық жүйемен қолданатын тұтынушының, координатаны анықтаудың дәлдігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіншілік береді.

2 ҒАРЫШ СПУТНИКТЕРІНІҢ НАВИГАЦИЯЛЫҚ МӘСЕЛЕСІН ШЕШУДІҢ НЕГІЗГІ ТЕОРИЯЛЫҚ ЕРЕЖЕЛЕРІ

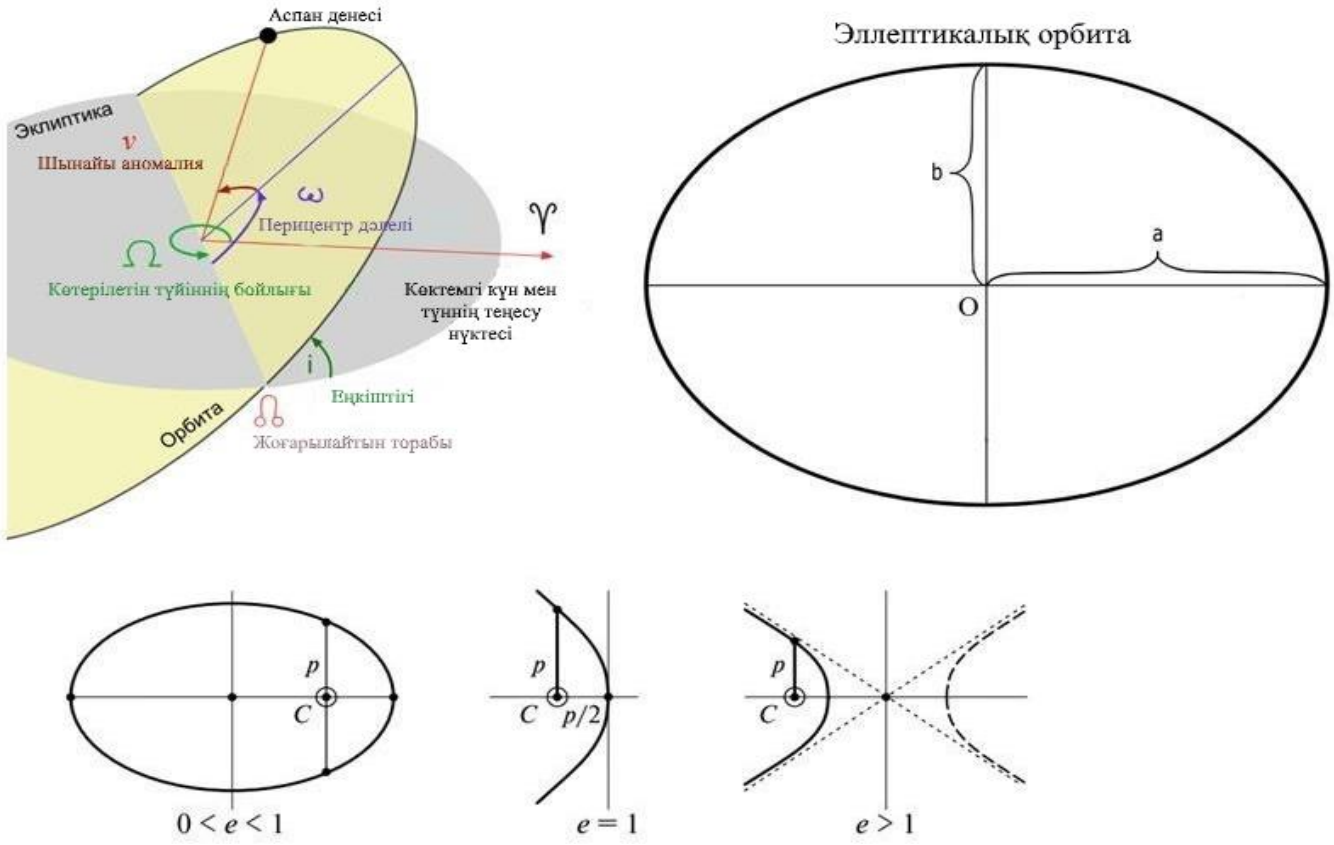
Навигациялық ғарыш аппараттарының негізгі міндетін шешу шеңберінде орбиталардың параметрлері, СРНЖ ғарыштық радиобайланыс принциптері, сондай-ақ навигациялық ғарыш аппараттары мен орбита топтарының арасындағы функционалдық байланыстарды дамыту, орбиталарда навигациялық ғарыш аппараттарын орналастыру жүзеге асырылады. Навигациялық ғарыш аппараттарының саны және олардың орбиталарының параметрлері бүкіл орбита топтарының құрылымын анықтайды. Әзірленген ғарыштық жүйе негізінде навигациялық тапсырманы шешу жолдарын таңдау арқылы жүзеге асыру мәселесі пысықталуда. Қызмет көрсету аймағы (қамту) және навигация мәселесін шешу ғарыштық жүйенің негізгі шығыс көрсеткіштері болып табылады. Навигациялық мәселені шешу үшін навигациялық ғарыш аппаратының бір-бірімен және тұтынушы жабдықтарымен әрекеттесу ерекшеліктерін ескеру қажет. Бұл өзара әрекеттесу радионавигациялық сигналдардың көмегімен жүзеге асырылады және оларды өңдеу әдістерін қолдануды білдіреді.

2.1 ҒНСЖ навигациялық аппараттар орбитасының параметрлері

Навигациялық ғарыш аппаратының Жерді айнала қозғалуы эллиптикалық траектория бойынша жүзеге асырылады. Ғарыш аппаратының бұзылмаған қозғалысы алты элементпен анықталады: жартылай үлкен ось a, эксцентристік e, орбитаның көлбеуі i, көтерілу түйінінің бойлығы Ω, перигейдің бұрыштық қашықтығы ω және шынайы аномалия ν. a және e параметрлері эллипстік орбитаның өлшемі мен пішінін анықтайды. i, Ω, ω, ν элементтері орбита жазықтығының XYZ координаттар жүйесіндегі орнын және осы жазықтықтағы орбитаның бағдарын анықтайтын бұрыштық сипаттамалар болып табылады [15]:

- орбиталық көлбеу i – орбита жазықтығы мен Жер экваторының жазықтығы арасындағы бұрыш;
- көтерілу түйінінің бойлығы Ω – серіппелі нүкте мен орбитаның көтерілу түйіні арасындағы, Жердің айналу бағыты бойынша экватор бойымен серіппелі нүктеден есептелетін бұрыш;
- перигей бұрыштық арақашықтық ω – ғарыш аппаратының қозғалысы бағыты бойынша көтерілу түйінінен есептелетін, түйіндер сызығы мен Жердің ортасынан орбитаның перигейіне дейінгі бағыт арасындағы бұрыш;
- шынайы аномалия ν – Жердің центрінен орбитаның перигейіне дейінгі бағыт пен орбитаның перигейінен ғарыш аппаратының қозғалысы бағытында өлшенген ғарыш аппаратының r радиус векторы арасындағы бұрыш.

Эллипстік орбитаның негізгі элементтері 2.1-суретте көрсетілген:



2.1 Сурет - Эллипстік орбитаның элементтері

Орбитаның негізгі элементтерінен басқа 2.1-суретте келесі сипаттамалар көрсетілген: – кіші ось, p – орбитаның фокалды параметрі, C – тарту орталығы (НҒА үшін Жер планетасы).

Тұрақты қозғалысты практикалық есептеу үшін қолданылатын негізгі формулалар келесідей:

$$r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cdot\cos\nu}, \quad h = r - R_3 \tag{2.1}$$

$$r_n = a(1-e),\ r_a = a(1+e),\ p = a(1-e^2), \tag{2.2}$$

$$e = \frac{r_a - r_n}{r_a + r_n} \tag{2.3}$$

$$T = T_0 \cdot \left(\frac{a}{R_3}\right)^{3/2} \tag{2.4}$$

Мұндағы мұндағы r – радиус векторының ағымдағы мәні; h – ғарыш аппаратының орбиталық биіктігінің ағымдағы мәні; $R_З$ – Жердің орташа радиусы; $R_З$ = 6371км; r_n – перигей радиусы (ν = 0º); r_a – апогей радиусы (ν = 180º); p – фокалды параметр (ν = 90º); e – орбиталық эксцентриситет; T – ғарыш аппаратының орбиталық периоды; T_0 – орбита биіктігі нөлге тең шеңберлі орбита үшін ғарыш аппаратының айналу периоды; $T_0 \approx 84{,}3$ мин $= 1{,}405$ сағ.

Жылдамдық векторы орбиталық параметрлермен келесі теңдеулер арқылы байланысады:

$$V = V_0\sqrt{\frac{2R_З}{r} - \frac{R_З}{a}},$$

$$V_u = V_0 \cdot \sqrt{\frac{R_З}{p}}(1 + e \cdot \cos\nu), \tag{2.5}$$

$$V_r = V_0 \cdot \sqrt{\frac{R_З}{p}} \cdot e \cdot \sin\nu,$$

$$\sin\theta = \frac{V_u}{V}, \qquad tg\theta = \frac{1+e\cdot\cos\nu}{e\cdot\sin\nu},$$

мұндағы V – эллипстік орбитадағы ғарыш аппаратының жылдамдығы; V_0 – орбита биіктігі нөлге тең шеңбер орбитадағы ғарыш аппаратының жылдамдығы; V_r – орбитаның радиусы бойынша жылдамдық құраушысы; V_0 ≈7,91 км/с; V_u – орбита радиусының нормаль бойымен жылдамдық құраушысы; θ – радиус векторы мен жылдамдық векторы арасындағы бұрыш.

Ғарыш кемесі қозғалысының ν бұрышы мен ағымдағы уақыты t арасындағы байланыс Кеплер теңдеуі арқылы берілген:

$$M = E - e \cdot \sin E, \tag{2.6}$$

$$(t - t_n) = T\frac{M}{2\pi},$$

$$\mathrm{tg}\frac{E}{2} = \sqrt{\frac{1-e}{1+e}} \cdot \mathrm{tg}\frac{\nu}{2}, \tag{2.7}$$

мұндағы M – орташа аномалия; E – эксцентрлік аномалия; t_n – перигейдің өту уақыты.

Кері есепті шешу үшін ν , E уақыт функциясы ретінде, мәндерін табу үшін итерация әдісі қолданылады [16]:

$$E_n = E_{n-1} - \frac{E_{n-1} - e\sin E_{n-1} - M}{1 - e\cdot\cos E_{n-1}}, \quad (2.8)$$

бірінші итерация кезінде $E_1 = M$.

Атмосфераның кедергісі, жердің қысылуы, күн сәулесінің жарық қысымы, жұлдыздар мен планеталардың тартылуы сияқты факторларға байланысты КА қозғалмайтын қозғалыстан ауытқуды сезінеді.

Маңызды фактор-бұл жердің сығылуының әсері, бұл орбитаның кеңістіктегі позициясының (эволюциясының) бір айналымда өзгеруіне әкеледі. Бұл фактіні уақыт өте келе НҒА орбиталық қозғалысының параметрлерін анықтау кезінде ескеру қажет.

Сондай-ақ ескеру маңызды көрсеткіштер - орбиталық прецессиялар. Жалпы алғанда, прецессия-бұл дененің орбиталық моменті кеңістіктегі бағытын өзгертетін құбылыс. Орбитаның көтерілу түйінінің прецессиясы келесідей анықталады:

$$\Delta\Omega_n = -0{,}59^0 \left(\frac{R_з}{p}\right)^2 \cdot \cos i, \quad (2.9)$$

және орбитаның перигейінің прецессиясы (апсидтер сызығының айналуы) былай есептеледі:

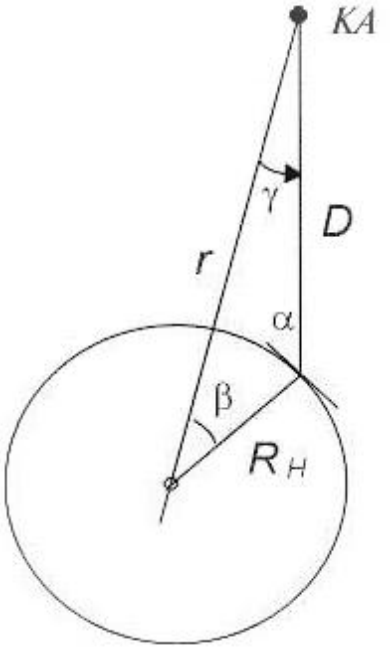
$$\Delta\omega_n = 0{,}296^0 \left(\frac{R_з}{p}\right)^2 (5\cos^2 i - 1). \quad (2.10)$$

Көтерілу түйінінің прецессиясы i = 90 кезінде нөлге тең, ал Орбита перигеясының прецессиясы i = 63,43 кезінде нөлге тең (теңдеулер негізінде (2.9), (2.10)), бұл эллиптикалық орбиталардың ω тұрақты бұрышын таңдау кезінде қолданылады.

2.2 Жер бетіне қатысты НҒА қозғалысы

Спутник өзінің орбиталық қозғалысы кезінде айналасында орбиталық қозғалыс ұйымдастырылған планета аумағының бір бөлігін бақылауға мүмкіндік береді. ҒА-ның бұл ерекшелігі байланыс, навигация, геодезия және басқа да қолданбалы есептерді шешу үшін пайдаланылады [16].

ҒА мен жер бетінде орналасқан бақылаушының (Н) өзара көрінуі 2.2-суретте геометриялық түрде суреттелген.



2.2 Сурет - ҒА және бақылаушының өзара көрінуінің геометриялық интерпретациясы

2.2-суретте келесі белгілер қолданылады: R_H – жер орталығынан жер бетіндегі немесе одан жоғары жердегі бақылаушыға дейінгі қашықтық; D – ұзақтық; α – көкжиектен жоғары спутниктің көру бұрышы; 2γ – жердің КА-дан көріну бұрышы; 2β – ға жер бетінің көру аймағының бұрыштық радиусы.

Өзара көріну мына формулалар арқылы есептеледі:

$$\beta = \arccos\left(\frac{R_H \cdot \cos\alpha}{r}\right) - \alpha,$$

$$D = \sqrt{r^2 - R_H^2 \cdot \cos^2\alpha} - R_H \cdot \sin\alpha, \qquad (2.11)$$

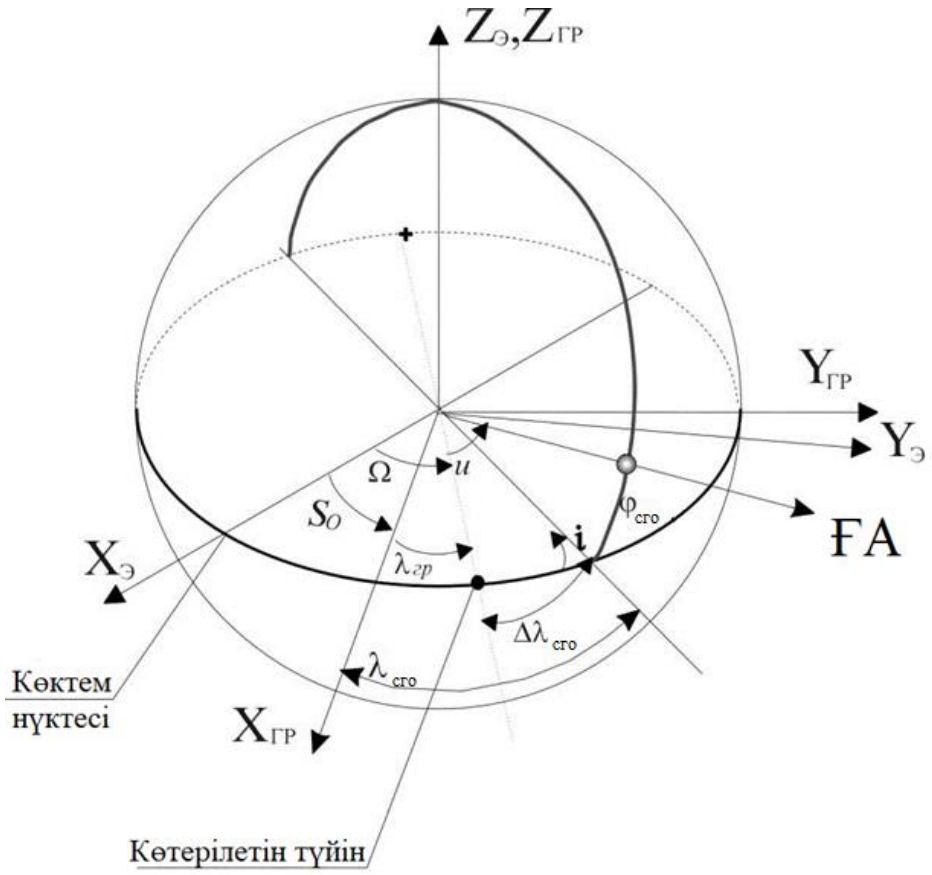
$$\gamma = \arcsin\left(\frac{R_H}{r}\cos\alpha\right),$$

$$S_З = 2\pi R_З^2 \cdot (1 - \cos\beta),$$

мұндағы $S_З$ – радиокөріну аймағының ауданы.

ҒА орбиталық қозғалысы мен жердің айналуына байланысты "ҒА - жердегі бақылаушы" өзара көріну сипаты динамикалық сипатқа ие. Жер бетіне қатысты ҒА

қозғалысы, әдетте, жер бетіндегі спутниктің географиялық орнының қозғалысы ретінде Гринвич координаттар жүйесінде $X_Г Y_Г Z_Г$ (2.3-сурет) көрініс табады.



2.3 Сурет - Гринвич координаттар жүйесіндегі КА қозғалысы

Уақыттың бір нүктесінде жерсеріктің орналасқан жерінің географиялық координаталарын ($\varphi_{\text{сго}}$, $\lambda_{\text{сго}}$) анықтау үшін келесі теңдеулер қолданылады:

$$\lambda_{\text{сго}} = \lambda_{\text{гр}} - \omega_{\text{ж}}(t - t_{\text{Э}})_Г + \Delta\lambda_{\text{гмс}}\,, \Delta\lambda_{\text{гмс}} = arc\text{tg}(\text{tg}\,u \cdot \cos i),$$

$$\lambda_{\text{гр}} = \Omega - S_0 - \omega_{\text{ж}} \cdot t_{\text{э.г}}\,, \varphi_{\text{сго}} = arc\sin(\sin u \cdot \sin i), \qquad (2.12)$$

мұндағы ω – Жердің айналу бұрыштық жылдамдығы; ω = 0,0042 °/с; u – орбитаның көтерілген түйінінен қозғалыс бағытында есептелетін спутниктің ендік аргументі, $u = \nu + \omega$; S_0 – берілген күнге орташа жұлдызды уақыт; $\lambda_{\text{гр}}$ – өрлемелі түйіннің географиялық бойлығы.

Қосалқы жерсеріктік ендіктің максималды мәні u = 90º кезінде $\varphi_{\text{сго}}^{max} = i$-ге тең. Бұл ретте ға-дан тексерілетін жер аумағы (ендік бойынша) $\varphi_{\text{осм}} \leq i + \beta$

шамасы мәніне жетуі мүмкін. Жер беті мен оның полярлық аймақтарын Ғаламдық тексеруді қамтамасыз ету үшін орбитаның қисаюы $i > 90° - \beta$ – қа сәйкес келуі керек. Экватордағы КА орбитасы проекциясының басталуы мен аяқталуы Жердің айналуы мен орбитаның прецессиясына байланысты сәйкес келмейді, бұл жер бетін спутниктің дәйекті тексеруін қамтамасыз етеді.

Айналыс кезеңі айналмалы жерге қатысты синхронды және жер беті бойынша трассаның изомаршруттылығына ие ға орбитасын таңдау мүмкіндігі бар. Синхронды орбиталардың қозғалыс периоды мына өрнекпен анықталады:

$$T_c = \left(2\frac{m}{n} + \frac{\Delta\Omega_П}{\pi}\right)\frac{\pi}{\omega_ж} \qquad (2.13)$$

мұндағы $\frac{m}{n}$ – күндер санының айналымдар санына қатынасы. Күн-синхронды орбиталар-қайталанатын жолдарда спутниктің күн өту уақыты сақталатын синхронды орбиталардың ерекше жағдайы. Бұл жағдай прецессия жылдамдығы мен орташа Күннің экватор бойымен қозғалу жылдамдығының сәйкес келу жағдайын жүзеге асырған кезде 90º-тан асатын орбиталар үшін жарамды ($\Omega_П$-нің мәні) бір күнде $|\Omega| = 0{,}985°$. (2.13) формуласында $|\Omega_П|$ мәні қолданылған кезде келесі өрнектер алынады:

$$T_{CC} = \frac{m}{n} \cdot 8{,}59284 \cdot 10^4 c = \frac{m}{n} \cdot 23{,}869 \; сағ,$$

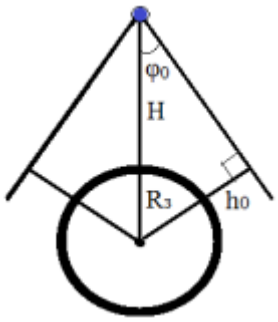
$$\cos i_{CC} = -\frac{m}{n} \cdot 1{,}67(1 - e^2)^2 \cdot \left(\frac{T_{CC}}{To}\right)^{4/3}. \qquad (2.14)$$

Алынған теңдеулер жүйесі ғарыш аппаратының бақылаушының көріну аймағында пайда болу ұзақтығы мен жиілігін, сондай-ақ Жер бетіндегі қызмет көрсету аймақтарының өлшемдерін геометриялық түрде анықтауға мүмкіндік береді [17].

3 GPS ҚАБЫЛДАҒЫШЫ ҚАБЫЛДАЙТЫН СИГНАЛДАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЕСЕПТЕУ

3.1 Жердегі тұтынушылар қабылдайтын радионавигациялық өріс қуатын есептеу

Штаттық НҒА шығаратын навигациялық радиосигналдар жер маңындағы кеңістіктегі радионавигациялық өрісті құрайды. НҒА антенналарының НС жұмыс бөлігін конустық радиосәуле түрінде, жоғарғы жағында $2\varphi_0$ бұрышпен ұсынуға болады (3.1-сурет).



3.1 Сурет - Радионавигациялық өрістің жер маңындағы кеңістікте таралуы

Бірінші суреттен көрініп тұрғандай,

$$\sin\varphi_0=\frac{h_0+R_3}{H+R_3} \qquad (3.1)$$

мұндағы $2\cdot\varphi_0$-антеннаның ашылу бұрышы,

h_0 – жер бетінен сәуленің биіктігі,

R_3 =6378 км - жер радиусы,

H – НҒА орбита биіктігі.

(1) формуладан h_0 биіктігін білеміз

$$h_0=\sin\varphi_0\cdot(H+r)-r \qquad (3.2)$$

ЖРНЖ Глонасс-та әрбір штаттық НҒА L_1=1602 МГц және L_2=1246 МГц жиіліктерінің навигациялық радиосигналдарын жерге қарай таратушы антенналар арқылы шығарады, олардың бағыттылық диаграммасының жұмыс бөлігі (ДН) ені $2\cdot\varphi_0=38°$ болады. НҒА орбитасының биіктігі 19100 км.

$$h_0 = \sin\varphi_0 \cdot (H+r) - r = \sin 19 \cdot (19100 + 6378) - 6378 = 1917 \text{ км}$$

ЖРНЖ GPS L_1=1575,4 МГц және L_2=1275,6 МГц, $2\varphi_0$=40°, H=20000 км.

$$h_0 = \sin\varphi_0 \cdot (H+r) - r = \sin 20 \cdot (20000 + 6378) - 6378 = 2644 \text{ км}.$$

Толық ТГ кезінде ғарышта үздіксіз $h \leq h_0$ биіктіктеріндегі радионавигациялық өріс, яғни тұтынушы осы кеңістіктің кез келген нүктесінде координаттар мен жылдамдық векторын анықтау үшін оған қатысты геометриялық фактор бойынша қанағаттанарлық шоқжұлдыз құрайтын кемінде төрт ЖКА-дан радиолучтармен "жарықтандырылады".

$h > h_0$ биіктіктерінде радионавигациялық өріс кеңістікте дискретті болады. $h_0 < h < H$ биіктіктеріндегі ғарыш объектілері жедел навигация үшін қажетті шоқжұлдыздардан радиолучтармен барлық жерде емес, тек кеңістіктің белгілі бір аймақтарында болған кезде ғана" жарықтандырылған".

$h > H$ биіктіктеріндегі ғарыш объектілері (мысалы, геостационарлық орбитада) өз орбитасының кейбір учаскелерінде бір немесе екі НҒА-дан радиолучпен "жарықтандырылады", бұл координаттарды анықтау үшін жеткіліксіз болып табылады.

Біз үздіксіз радионавигациялық өрісті ($h \leq h_0$) қарастырумен шектелеміз, өйткені жер үсті навигациясы осы шектерге кіреді. Мысалы, Алматы қаласы теңіз деңгейінен 600-ден 1100 метрге дейін орналасқан.

Жер бетіне орналастырылған қабылдағыш антеннадан бастап зениттік (β=90°) НҒА-ға дейінгі қашықтық R = H, ал Горизонт (β=5°) НҒА 3.1-сурет негізінде анықталады.

$$R = \sqrt{h^2 + ((H_1 + R_3) - (h + R_3))} \qquad (3.4)$$

ГЛОНАСС үшін егер β = 90°, R=19100 км, ЖБК-ге дейінгі қашықтық β=5°

$$R = \sqrt{1917^2 + ((19100 + 6378)^2 - (1917 + 6178)^2} = 24170 \text{ км}.$$

GPS үшін егер β = 90°, R=20000 км, β = 5°

$$R = \sqrt{2644^2 + ((20000 + 6378)^2 - (2644 + 6178)^2)} = 24930 \text{ км}.$$

3.3 формуласындағы деректерді алмастыра отырып, жер бетіндегі сигналдың қуат деңгейін табамыз. Біз 3.2 және 3.3 кестелердегі деректерді жинаймыз.

3.2 Кесте - тұтынушы қабылдайтын ГЛОНАСС жүйесінің L1 және L2 ішкі диапазонының навигациялық сигнал деңгейі

f, МГц	1602		1246	
β	90°	5°	90°	5°
$P_{п,}$ дБ Вт	+15 ± 1		+9 ± 1	
G(φ), дБ	+10	+12	+9	+11
$\frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2}$, дБ	-182	-184,2	-180	-182
$G_0(\beta)$, дБ	0		0	
P_0, дБ	-157,6±1	-158 ± 1	-163 ± 1	-163 ± 1

Есептеулерден жер бетіндегі тұтынушы изотропты антеннаны қолдана отырып қабылдаған навигациялық радио сигналдың қуаты зениттік және пригоризонт НҒА үшін бірдей екенін көруге болады. Алынған деректерді графикте бейнелейміз (3.2-сурет).

3.3 Кесте - тұтынушы қабылдайтын GPS жүйесінің L1 және L2 ішкі диапазонының навигациялық сигнал деңгейі

f, МГц	1575,4		1275,6	
β	90°	5°	90°	5°
$P_{п,}$ дБ Вт	+50 ± 1		+8 ± 1	
G(φ), дБ	+7	+8	+8	+10
$\frac{\lambda^2}{(4 \cdot \pi \cdot R)^2}$, дБ	-182,4	-184	-180,6	-182,5
$G_0(\beta)$, дБ	0		0	
P_0, дБ	-159 ± 1	-159 ± 1	-164,5±1	-165 ± 1

3.2 GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу

Дипломдық жобада әзірленген қабылдағыштың жұмысы екі ЖРНЖ спутниктерінің деректері бойынша координаттарды анықтауға негізделген. Яғни, жоғары дәлдіктегі навигациялық деректерді алу үшін бір уақытта бірнеше сигналдар қолданылады. Бұл әсіресе күрделі кедергі жағдайында, мысалы, қабылдағыштың әуежайларға немесе көптеген радиобайланыс пен радиолокациялық құралдарға ие басқа объектілерге жақын жерде жұмыс істеуі кезінде өте маңызды. Мұндай жағдайларда ЖРНЖ сигналдарының кедергісінен қорғау деңгейі үлкен рөл атқарады.

Біз азаматтық пайдаланушыларға қол жетімді GPS және ГЛОНАСС

жүйелерінің сигналдарын қорғау деңгейінің мәнін есептейміз. Ол үшін сигналдардың параметрлерін білу керек, сонымен қатар тұтынушы қабылдаған сигнал қуатының жоғарыда есептелген мәндерін қолданамыз. Бұл деректер 3.4-кестеде келтірілген.

3.4 Кесте - GPS және ГЛОНАСС сигналдарының сипаттамалары

Сигнал типі	Сигнал параметрлері				
	$f_н$, ГГц	$f_т$, МГц	N	$P_с$, дБВт	T, мс
L1-GPS	1575,42	1,023	1023	-158	1
L2-GPS	1227,6	1,023	10230	-165	10
L1-ГЛОНАСС	1602	0,511	511	-158	1
L2-ГЛОНАСС	1246	0,511	511	-165	1

Радионавигациялық жүйелерде Шу тәрізді сигналдар пайдаланылады, сондықтан мұндай байланыс арнасындағы Q2 кедергісінен қорғау деңгейін формуласы бойынша есептеуге болады:

$$q^2 = 2 \cdot p^2 \cdot B \tag{3.5}$$

мұндағы $\rho^2 = \frac{P_с}{P_n}$ с-қабылдағыштың кірісіндегі $P_с$ сигналының қуаты мен $P_п$ шуының қатынасы;

$B=F \cdot T = T/t0=N$ - сигнал базасы, сигналдың бір кезеңіндегі импульстар санына тең.

ШТС базасы бастапқы сигнал спектрімен салыстырғанда оның спектрінің кеңеюін сипаттайды. Жиіліктер спектрін кеңейту бастапқы сигналды әрқайсысының ұзақтығы t_0 N битінен тұратын T қайталау кезеңімен жалған кездейсоқ тізбекке (ЖКТ) көбейту арқылы жүзеге асырылуы мүмкін. Бұл жағдайда ШТС базасы PSP - N элементтерінің санына тең.

Қабылданған P_C сигналының қуаты бұрын есептелген (3.2 және 3.3 кестелер).

P_n мәнін арақатынастан табамыз:

$$P_n = k \cdot T \cdot \Delta F \tag{3.6}$$

мұндағы $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$-Больцман тұрақтысы,

T - Кельвин градусындағы қоршаған орта температурасы,

ΔF - сигнал алған жиілік жолағы (бірінші нөлдермен шектелген сигнал спектрінің еніне тең деп есептейміз).

Содан кейін формула (3.5) пайда болады:

$$q^2 = \frac{2 \cdot P_c \cdot N}{k \cdot T \cdot \Delta F} \quad (3.7)$$

GPS жүйесінің сигналы үшін өрнектерді (3.7) L1-кодпен 300 К қоршаған орта температурасында ішкі жүйелік кедергілерді ескермей есептей отырып, біз аламыз:

$$q^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 1023}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6} = 32{,}73 = 15 \text{ дБ}$$

Яғни, 300 К температурада GPS жүйесінің L1-коды бар сигналдарды қабылдау сигнал жолағындағы кедергі деңгейі жылу шуының деңгейінен 15 дБ аспайтын шамада асқан жағдайда ғана мүмкін болады. Алайда, бұл мән сигналдың қасиеттерін әлі толық сипаттамайды. $P_{n,0}$ кедергі сигналдарының қуатының нақты мәнін білу керек, оның әсерінен қабылдау құрылғыларының жұмысы мүмкін емес. Оны анықтау үшін біз Шеннон теоремасын қолданамыз, оған сәйкес $q_0^2 = 2\ln 2 = -1{,}6$ дБ мәні арнаның өткізу қабілетін анықтауда шекті болып табылады. Егер арнадағы сигнал-шу қатынасы шекті мәннен үлкен болса, $q_0^2 < q^2$, онда қате ықтималдығы аз сигнал берілуі мүмкін. Әйтпесе, q0 2 > q 2, қате ықтималдығы күрт артады және сигнал беру мүмкін емес. Енді біз $P_{n,0}$ кедергі сигналдарының қажетті қуатын есептейміз, формула бойынша есептелген децибелдегі сигнал жолағындағы жылу шу деңгейінің мәнін қосамыз:

$$P_n = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6 = 1{,}018 \cdot 10^{-14} \text{Вт} = -140 \text{ дБВт},$$

$$P_{n,0} = P_n + q^2 + q_0^2 \quad (3.8)$$

мұндағы q^2-кодтың кедергіден қорғалу мәні; q_0^2-Шеннон шегінің мәні.

GPS жүйесінің L1 коды үшін:

$$P_{n,0\ L1GPS} = -140 + 15 + (-1{,}6) = -126{,}5 \text{ дБВт}$$

Бұл шаманы басқа жолмен алуға болады - Шеннон теоремасынан және формулалардан (3.5) және (3.7) кейінгі формуланы қолдана отырып.

$$q_0^2 = \frac{2 \cdot P_c \cdot B}{P_{n,0}} \quad (3.9)$$

мұндағы q_0^2 = ln2=-1,6 дБ – Шеннонның шегі.

Біз кедергі сигналдарының қажетті қуатын білдіреміз:

$$P_{n,0} = \frac{P_c \cdot B}{ln\ 2} \quad (3.10)$$

L1 кодымен GPS жүйесінің сигналы үшін өрнекті (3.10) есептейміз:

$$P_{n,0\ L1GPS} = \frac{1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 1023}{\ln 2} = 2{,}3 \cdot 10^{-23}\ \text{Вт} = -126{,}6\ \text{дБВт}.$$

Mathcad-де навигациялық сигналдардың шуылға қарсы параметрлерін есептейтін бағдарлама жасалды (3.3-сурет). Жұмыста бағдарлама тізімі берілген.

Сол сияқты (3.6), (3.7) және (3.8) өрнектерді қолдана отырып, біз әзірленген қабылдағышта қолданылатын спутниктік радионавигациялық жүйелердің барлық сигналдарының кедергілерден қорғаныс деңгейін есептейміз.

L2 GPS сигналы. N=10230; F=$2{,}6 \cdot 10^6$ Гц; P=$10^{-16{,}5}$=$0{,}32 \cdot 10^{-16}$ Вт болғандықтан, формулаларға ауыстыру арқылы біз келесі деректерді аламыз:

$$q^2_{L2GPS} = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 10230}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^6} = 60{,}11 = 17\ \text{дБ};$$

$$P_{n\ L2GPS} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^6 = 1{,}08 \cdot 10^{-14}\ \text{Вт} = -139\ \text{дБВт};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139 + 17 - 1{,}6 = -123{,}6\ \text{дБВт}.$$

L1 ГЛОНАСС сигналы. Ол үшін N=10230; F=$1{,}1 \cdot 10^{-6}$ Гц и P=$10^{-15{,}8}$=$1{,}6 \cdot 10^{-16}$ Вт, сәйкесінше

$$q^2_{L1\ ГЛОНАСС} = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 511}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6} = 36 = 16\ \text{дБ};$$

$$P_{n\ L1ГЛОНАСС} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6 = 4{,}554 \cdot 10^{-15}\ \text{Вт} = -143\ \text{дБВт};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143 + 16 - 1{,}6 = -128{,}6\ \text{дБВт}.$$

L2 ГЛОНАСС сигналы. N=10230; F=$0{,}9 \cdot 10^{-6}$ Гц и P=$10^{-16{,}4}$= $0{,}4 \cdot 10^{-16}$ Вт.

$$q^2_{L2\ ГЛОНАСС} = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 511}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^6} = 11 = 10\ \text{дБ};$$

$$P_{n\ L2ГЛОНАСС} = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6 = 4{,}554 \cdot 10^{-15}\ \text{Вт} = -144\ \text{дБВт},$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144 + 10 - 1{,}6 = -135{,}6\ \text{дБВт}.$$

Есептеу нәтижелері 3.5-кестеде келтірілген. ЖРНЖ-да жалған кездейсоқ тізбектердің сегменттері сигналдарды қалыптастыру үшін қолданылады.

3.5 Кесте - Шеннон шегіне жетуге сәйкес келетін сигналдардың кедергісінен қорғау деңгейі және кедергінің қуат деңгейінің мәні

Сигнал	Сигнал параметрлері			
	такт жиілігі $f_т$, МГц	сигнал базасы B	помехоустой-чивость q2,дБ	шу қуаты деңгейі $P_{n,0}$, дБВт
L1-GPS	1,023	1023	15	-127
L2-GPS	1,023	10230	17	-124
L1-ГЛОНАСС	0,511	511	16	-129
L2-ГЛОНАСС	0,511	511	10	-136

Мәндер әр сигналдың бір толық кезеңі үшін есептеледі. Алайда, бұл навигациялық деректер қабылдағыштарда сигнал кезеңінде бір реттен көп емес жаңартылатынын білдіреді. Сондықтан есептелген мәндер оның нақты мәні туралы емес, кедергіден қорғаудың ықтимал деңгейі туралы айтады. Нақты мәндерді анықтау үшін біз деректерді қолданамыз, оған сәйкес сигналдың жинақталу уақыты 1-ден 4 мс-қа дейін, ал сигналдың жинақталуының максималды уақыты навигациялық деректерді беру битінің ұзақтығына сәйкес келеді және 20 мс құрайды.

4 мс корреляция уақытында кедергіден қорғау деңгейін есептеу нәтижелерін табамыз.

L1 GPS сигналы үшін:

$$B = 4 \cdot 1023 = 4092 ;$$

$$q_{L2\ GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 4092}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6} = 129 = 21 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139 + 21 - 1{,}6 = -119{,}6 \text{ дБВт}.$$

L2 GPS сигналы үшін:

$$B = 4 \cdot 1023 = 4092 ;$$

$$q_{L2\ GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 4092}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^6} = 24 = 14 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139 + 14 - 1{,}6 = -126{,}6 \text{ дБВт}.$$

L1 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$B = 4 \cdot 511 = 2044 ;$$

$$q_{L1\ ГЛОНАСС}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 2044}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6} = 142 = 22 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143+22-1{,}6 = -122{,}6 \text{ дБВт}.$$

L2 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$B = 4 \cdot 511 = 2044 ;$$

$$q_{L2\ ГЛОНАСС}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 2044}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^6} = 44 = 16 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144+16-1{,}6 = -129{,}6 \text{ дБВт}.$$

Корреляция уақыты 20 мс болған кезде кедергіден қорғау деңгейін есептеу нәтижелерін табамыз.

L1 GPS сигналы үшін:

$$B = 20 \cdot 1023 = 20460 ;$$

$$q_{L1\ GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 20460}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}46 \cdot 10^6} = 643 = 28 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+28-1{,}6 = -112{,}6 \text{ дБВт}.$$

L2 GPS сигналы үшін:

$$B = \frac{20 \cdot 10920}{10} = 20460;$$

$$q_{L2\ GPS}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}32 \cdot 10^{-16} \cdot 20460}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 2{,}6 \cdot 10^6} = 120 = 21 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2GPS} = -139+21-1{,}6 = -119{,}6 \text{ дБВт}.$$

L1 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$B = 20 \cdot 511 = 10220 ;$$

$$q_{L1\ ГЛОНАСС}{}^2 = \frac{2 \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-16} \cdot 10220}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6} = 711 = 29 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L1ГЛОНАСС} = -143+29-1{,}6 = -115{,}6 \text{ дБВт}.$$

L2 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$B = 20 \cdot 511 = 10220 ;$$

$$q_{L2\ ГЛОНАСС}{}^2 = \frac{2 \cdot 0{,}4 \cdot 10^{-16} \cdot 10220}{1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 0{,}9 \cdot 10^6} = 218 = 23 \text{ дБ};$$

$$P_{n,0\ L2ГЛОНАСС} = -144+23-1{,}6 = -122{,}6 \text{ дБВт}.$$

Алынған деректер 3.6-кестеде келтірілген. Корреляция уақытының жоғарылауымен сигналдың шуылға төзімділігі артады.

3.6 Кесте - Сигнал кедергісінен қорғау деңгейі және әртүрлі корреляция уақыты кезінде Шеннон шегіне жетуге сәйкес келетін кедергі қуаты деңгейінің мәні

Сигнал	Сигнал параметрлері			
	жинақтау уақыты, мс	сигнал базасы B	помехоустой-чивость q^2,дБ	қуат деңгейі $P_{n,0}$, дБВт
L1-GPS	4	4092	21	-120
	20	20460	28	-113
L2-GPS	4	4092	14	-127
	20	20460	21	-120
L1-ГЛОНАСС	4	2044	22	-123
	20	10220	29	-116
L2-ГЛОНАСС	4	2044	16	-130
	20	10220	23	123

Сигналдар үшін өрнектен корреляцияның максималды уақытын математикалық түрде анықтауға болады:

$$\mathrm{T}_{\max} = \tau \cdot N = \frac{N}{f} \qquad (3.11)$$

мұндағы N-корреляция процесіне қатысатын сигнал элементтерінің саны.
Формуланы қолданамыз

$$N_{max} < \frac{0{,}26}{\delta f}, \qquad (3.12)$$

мұндағы δf - АП және ЖРНЖ генераторларының жалпы тұрақсыздығы.

ЖРНЖ генераторының тұрақсыздығы цезий генераторының тұрақтылығымен анықталады және $(1...5)\cdot 10^{-13}$. ЖБК $5 \cdot 10^{-11}$ мәніне жету үшін заманауи жылу тұрақтандырылған кварц генераторларының тұрақтылығы. Осылайша, негізгі тұрақсыздықты GNSS қабылдағыш генераторы енгізеді. Формулаға (3.10) генератордың тұрақсыздығының көрсетілген мәнін алмастыра отырып, корреляция процесіне қатыса алатын NMAX сигнал элементтерінің максималды санын аламыз:

$$N_{max} = \frac{0,26}{5 \cdot 10^{-13} + 5 \cdot 10^{-11}} = 5,15 \cdot 10^{9}.$$

Тиісінше, 9 формуласы бойынша 1,023 (GPS) және 0,511 МГц (ГЛОНАСС)сағат жиілігімен кодтардың корреляциясының максималды уақытын анықтаймыз:

$$T_{maxGPS} = \frac{5,15 \cdot 10^{9}}{1,023 \cdot 10^{6}} = 5034 \text{ с};$$

$$T_{max\ ГЛОНАСС} = \frac{5,15 \cdot 10^{9}}{0,511 \cdot 10^{6}} = 10078 \text{ с}.$$

Кодтардың корреляциясының максималды уақыты сағат жиілігінің жоғарылауымен азаяды.

Әрбір сигнал үшін ең аз корреляция уақытын анықтаймыз. Оның мәні жалған дабылдың берілген шегі бойынша анықталады. Мысалы, 10^{-2} және10^{-5} жалған дабыл ықтималдығы кезінде сигнал-шу қуатының тиісінше 4 дБ және 9,6 дБ қатынасы болуы қажет.

(3.5) формуладан:

$$B = \frac{q^2 \cdot P_n}{2 \cdot P_s} \qquad (3.13)$$

$B = \frac{T}{\tau_0}$ мәнін ескере отырып, біз табамыз

$$T = \frac{q^2 \cdot P_n \cdot \tau_0}{2 \cdot P_s} = \frac{q^2 \cdot P_n}{2 \cdot P_s \cdot f_0} \qquad (3.14)$$

Біз осы өрнекке сәйкес ЖРНЖ сигналдарының ең аз корреляция уақытын есептейміз (жүйелік кедергілерді ескермей). Бұл ретте (3.11) формулаға сүйене отырып, реттілік элементтері санының мәні мынадай формула бойынша айқындалады:

$$N_{min} = T_{min} \cdot f_0 \qquad (3.15)$$

q^2 = -1,6 дБ (Шеннон шегі), 4 дБ (жалған дабылдың ықтималдығы 10^{-2}) және 9,6 дБ (жалған дабылдың ықтималдығы 10^{-5}) мәндерін табамыз.

L1 GPS сигналы үшін:

$$T_{min1} = \frac{10^{\frac{-1,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 22 \cdot 10^{-6} = 22 \text{ мкс};$$

$$N_{min1} = 22 \cdot 10^{-6} \cdot 1,023 \cdot 10^6 = 22;$$

$$T_{min2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 78 \cdot 10^{-6} = 78 \text{ мкс};$$

$$N_{min2} = 78 \cdot 1,023 = 79 ;$$

$$T_{min3} = \frac{10^{\frac{9,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 284 \cdot 10^{-6} = 284 \text{ мкс};$$

$$N_{min3} = 284 \cdot 1,023 = 290.$$

L2 GPS сигналы үшін:

$$T_{min1} = \frac{10^{\frac{-1,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 115 \cdot 10^{-6} = 115 \text{ мкс};$$

$$N_{min1} = 115 \cdot 1,023 = 117 ;$$

$$T_{min2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 418 \cdot 10^{-6} = 418 \text{ мкс};$$

$$N_{min2} = 418 \cdot 1,023 = 428 ;$$

$$T_{min3} = \frac{10^{\frac{9,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-165}{10}} \cdot 1,023 \cdot 10^6} = 1518 \cdot 10^{-6} = 1518 \text{ мкс};$$

$$N_{min3} = 1518 \cdot 1,023 = 1553.$$

L1 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$T_{min1} = \frac{10^{\frac{-1,6}{10}} \cdot 10^{\frac{-143}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0,511 \cdot 10^6} = 20 \cdot 10^{-6} = 20 \text{ мкс};$$

$$N_{min1} = 20 \cdot 0{,}511 = 10\ ;$$

$$T_{min2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-143}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 71 \cdot 10^{-6} = 71 \text{ мкс};$$

$$N_{min2} = 78 \cdot 0{,}511 = 36\ ;$$

$$T_{min3} = \frac{10^{\frac{9{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-140}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-158}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 256 \cdot 10^{-6} = 256 \text{ мкс};$$

$$N_{min3} = 256 \cdot 0{,}511 = 131.$$

L2 ГЛОНАСС сигналы үшін:

$$T_{min1} = \frac{10^{\frac{-1{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 63 \cdot 10^{-6} = 63 \text{ мкс};$$

$$N_{min1} = 63 \cdot 0{,}511 = 32\ ;$$

$$T_{min2} = \frac{10^{\frac{4}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 230 \cdot 10^{-6} = 230 \text{ мкс};$$

$$N_{min2} = 230 \cdot 0{,}511 = 118\ ;$$

$$T_{min3} = \frac{10^{\frac{9{,}6}{10}} \cdot 10^{\frac{-144}{10}}}{2 \cdot 10^{\frac{-164}{10}} \cdot 0{,}511 \cdot 10^{6}} = 835 \cdot 10^{-6} = 835 \text{ мкс};$$

$$N_{min3} = 835 \cdot 0{,}511 = 427.$$

Есептеу нәтижелері 3.7-кестеде келтірілген.

3.7 Кесте - ҒНСЖ сигналдарының корреляциясының ең аз уақыты

Сигнал	q_1^2=1,6 дБ		q_2^2=4 дБ		q_3^2=9,6 дБ	
	T_{min1},мкс	N_{min1}	T_{min2},мкс	N_{min2}	T_{min3},мкс	N_{min3}
L1-GPS	22	22	78	79	284	290
L2-GPS	115	117	418	428	1518	1553
L1-ГЛОНАСС	20	10	71	36	256	131
L2-ГЛОНАСС	63	32	230	118	835	427

3.5, 3.6 кестелеріндегі деректерді салыстыра отырып, ГЛОНАСС және GPS жүйесінің сигналдары бірдей шуылға төзімді екенін көруге болады. Сондықтан, күрделі кедергі жағдайында пайдаланушыларға өздерінің координаттарын анықтау үшін әртүрлі НҒА сигналдарын қабылдайтын тұтынушылардың көп жүйелік жабдықтарын қолданған жөн. 3.7 кестесіндегі деректерді салыстырудан, кедергі болмаған жағдайда, L1-ГЛОНАСС және L1-GPS сигналдарын қолдану арқылы сигналдарды іздеудің ең аз уақытына қол жеткізіледі.

4 ҒНСЖ СЫРТҚЫ ЖОБАЛАУ АЛГОРИТМДЕРІ ЖӘНЕ ҒНСЖ ІШКІ ЖОБАЛАУ ТЕОРИЯСЫ

Ғарыштық техника мен технологияның дамуы мен қуатты құралдардың пайда болуы, навигациялық аппараттардың ұшырылуы геостационарлық, орта шеңберлі және жоғары эллипстік орбиталардың игеруіне әсер етті.

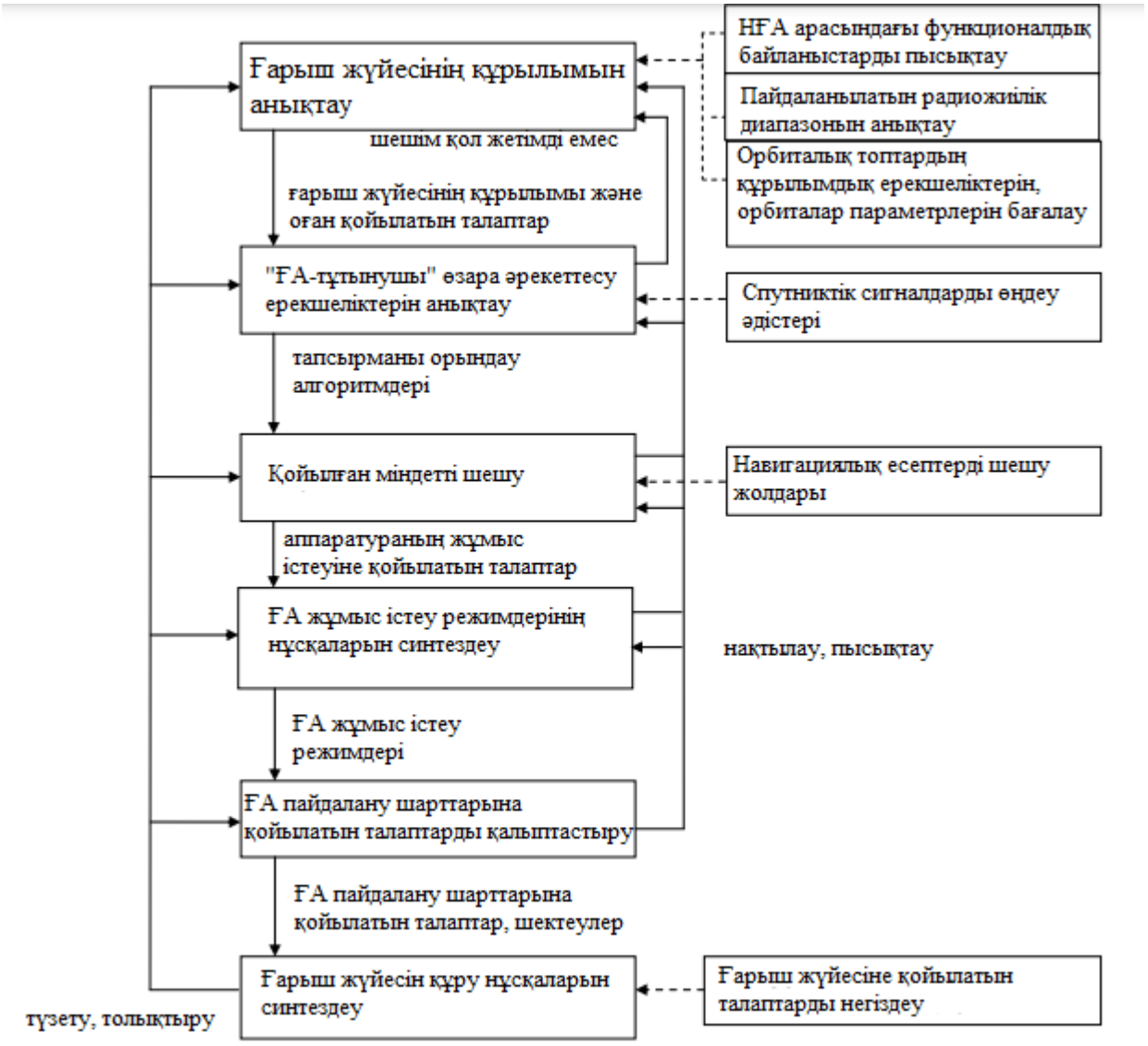
Орбита топтарының негізгі элементі ретінде навигациялық ғарыштық аппараттар динамикалық болып табылады. Ғарыш жүйесі ұсынатын жаңа қасиеттер мен көрсететін қажетті қызметтер, ғарыш аппаратының жұмысын жаңғырту және қамтамасыз ету арқылы жүзеге асырылады. Дегенмен, үнемділік талаптарын орындау үшін, навигациялық ғарыш аппараттарының қызмет ету мерзімін 15 жылға дейін көбейту қажет. Бірақ, сонымен бірге, бұл құрылғының техникалық ескіруіне әкеледі. Ғарыштық жүйелерді жаңғырту үшін НҒА-ның қызмет ету барысында, жұмыс істеу принциптерінің архитектурасын түзету және орбитадағы жұмысын қайта құрылымдаудың мүмкіндігі бар. Тәсілдер мен талаптар, жаңа техникалық шешімдер мен алгоритмдерді іздеуді ынталандырады. Бұл тәсілдер ғарыш аппараттарының сыртқы жобалауының ішінде орындалады.

Сыртқы жобалаудың негізгі міндеті — ғарыш жүйесін дамыту идеологиясы шеңберінде навигациялық ғарыш аппараттарын, навигациялық ғарыш аппараттарының құрылымы мен қызмет ету принциптерін анықтау.

Орбиталық топтардың құрылымы мен қызмет ету ерекшеліктерін реттеуге болады, ғарыш жүйесіне қойылатын талаптарға байланысты. Ғарыштық жүйелерге енгізілген түзетулердің бағыты, сандық немесе сапалық сипаты әсер етеді. Сандық өзгерістер әдетте, сыртқы жобалау сатысында жүзеге асырылады, ал сапалы өзгерістер - ішкі жобалау деңгейінде.

Ғарыштық жүйелердегі сандық өзгерістер кезінде орбиталды топтардағы спутниктер санын көбейту, қызмет ету мерзімі біткен, орбитадағы ғарыш аппараттарын толыққанды ауыстыруына әкеледі.

Навигациялық ғарыш аппараттарының сыртқы жобалау кезіндегі итерациялық реттілігі 4.1-суретте көрсетілген.



4.1 Сурет - Ішкі жобалау кезеңдерінің орындау сызбасы

4.1 Навигациялық мақсаттарды шешу жолдары

Тұтынушылардың қозғалыс жылдамдығының артуы, навигациялық анықтамалардың шектеулі уақыт ішінде әрекет етіп, қазіргі уақыт шкаласын қажет етеді.

- навигациялық бағдарламалық қамтамасыз ету келесі сипаттамаларға ие болуы керек:

ғаламдық (ғаламшардың бүкіл бетін қамту, Жерге жақын кеңістікті қамту);

- дәлдік;

- қолжетімділік (кез келген ауа райында координаталарды, жылдамдықты және түзетуді анықтау мүмкіндігі);

- шапшаңдық (талап етілген уақыт ішінде навигациялық бақылауларды орындау);

Ғаламдық — ғарыш аппараттарының орбиталарының қасиеттеріне байланысты және жылдам қозғалысына байланысты. Ауа-райынан, жыл мезгілінен және күндерден тәуелсіздігі, ғарыш аппараттарының жоғары жиілікті ашық радиосигналдарымен қамтамасыз етіледі; Шапшаңдық — орбиталық топтардағы ғарыш аппараттарының санын көбейту арқылы қол жеткізіледі. Навигациялық анықтамалардың ерекшелігі – ғарыш аппаратының жұмыс істеу барысында, орнын жоғары дәлдікпен болжау, өлшеу және жіберу қажеттілігі (эфемерлер), радионавигациялық сигналдың бөлігі ретінде тұтынушыға, сондай-ақ навигациялық сигналдың жоғары тұрақтылығын қамтамасыз ету, және олардың негізінде жоғары дәлдіктегі уақыт шкаласының болуы.

4.2 Спутниктік радиосигналдарды өңдеу әдістері

Ғарыш аппаратының навигациялық анықтамалары мәселесін шешу үшін, ашық каналмен қабылданатын сигналдар құрылымдарға ие болуы қажет: сигналдарды бөліп қабылдау және радиосигнал параметрлерін дәл өлшеу болып табылады (кідірту, Доплер жиілігінің ығысуы, фазасы). Нәтижесінде, радиосигналдарды беру мен қабылдауды тиімді ұйымдастыру үшін келесі талаптарды орындау қажет:

- қабылдағышта ашық сигналдарды тиімді бөлуді жүзеге асыру;

- ашық байланыс каналдарында берілетін және қабылданатын сигналдардың кедергіге төзімді болуын қамтамасыз ету;

4.3 ҒНСЖ навигациялық ғарыш аппаратының ішкі жобалау теориясы

Ғарыш аппаратының борттық жабдығының ақпараттық өзара әрекеттестігі тұрғысынан ішкі дизайнның негізгі міндеті ғарыш аппаратының архитектурасы мен оның жұмыс істеу логикасын синтездеу, ғарыш аппаратының борттық жабдығының бағдарламалық қамтамасыз етуді жүзеге асыру шегінде жүзеге асыру болып табылады. Ғарыш аппаратының құрамдас элементтеріне қалыптасқан конструкциялық талаптардың шеңберінде. НҒА ішкі жобалаудың негізгі кезеңдерін орындау схемасы 4.2-суретте көрсетілген.

4.2 Сурет - НҒА ішкі жобалау кезеңдерін жүзеге асыру схемасы

Ішкі жобалау сатысында қолданыстағы спутниктерді қайта бағдарламалау (ғарыш аппаратында массивтер түріндегі түзетулер мен жаңа алгоритмдерді төсеу) арқылы ғарыштық жүйелердің жұмысында сапалы өзгерістерге қол жеткізуге болады. Бірақ бұл өзгерту әдісі спутникте жаңа алгоритмдерге сәйкес әрекеттерді орындау үшін қосалқы есептеу ресурстары болған жағдайда ғана қолданылады. Ішкі жобалау кезеңінің бөлігі ретінде ғарыш аппаратының жұмыс істеу логикасына және оны бағдарламалық қамтамасыз етуді енгізуге қатысты мәселе жан-жақты қарастырылады.

4.3.1. Ғарыш аппаратының құрылымдық-функционалдық құрылысы

Ғарыш аппараты ғарыш жүйесінің негізгі элементі болып табылады, оның мақсатты сипаттамаларын анықтайды. Ғарыш аппаратының функционалдық мақсаты осы ғарыш аппараты қолданылатын ғарыш жүйелерінің мақсатымен анықталады. Тағайындауға сәйкес ғарыш аппаратының құрамы жасақталды. Жалпылама түрде ғарыш аппаратының құрамы төмендегідей берілген:

- қызмет көрсету жүйелері: тіршілікті қамтамасыз ету жүйелері, жұмыс істеуін қамтамасыз ету жүйелері;

- механикалық ғарыш аппараттарының жүйелері, жалпы мақсаттағы жобалау;

- борттық кабельдік желі;

Жалпыланған түрдегі ғарыш аппаратының берілген құрамы ғарыш аппаратының құрамдас элементтері шешетін міндеттердің құрылымдық бөлінуін көрсетеді.

Қызмет көрсету жүйелері ғарыш аппаратының барлық белсенді әрекет ету кезеңінде жүктелген міндеттерін кепілдікпен орындалуын қамтамасыз етуге арналған.

ҒА механикалық жүйелері, жалпы мақсаттағы конструкция және борттық кабельдік желі құрылғылар мен тораптарды, құрылымдық және электрлік интерфейстер бойымен біріктіру, оларды құрылымдық түрлендіру үшін қажет. Бұл оның жұмысының барлық кезеңдерінде әртүрлі факторлардың әсерінен ғарыш аппаратының тұрақтылығы мен өмір сүруін және ғарыш аппаратын ұшыру, сынау және дайындау құралдарымен үйлесімділігін қамтамасыз етеді.

4.3.2 Ғарыш аппаратының жұмыс істеуінің жалпы логикасы

Жалпы жағдайда ғарыштық жүйенің ғарыш аппараты белсенді өмір сүрудің барлық кезеңінде тұрақты жұмыс істеуге қабілетті болуы керек.

Ғарыш аппараттарын пайдаланудың бүкіл процесі кезеңдерге бөлінеді:

- ғарыш аппаратын тұрақты пайдалануға енгізу;

- тұрақты жұмыс;

- ғарыш аппаратын пайдаланудан шығару.

Ғарыш аппаратын тұрақты пайдалануға енгізу оны ұшыру алдында ғарыш аппаратымен барлық дайындық операциялары аяқталғаннан кейін ұшыру кешенінен басталады және ғарыш аппаратын тұрақты пайдалануға берумен аяқталады. Қалыпты жұмыс кезінде ғарыш аппаратын мақсатты пайдаланудың бұзылуына әкелетін төтенше жағдайлар орын алуы мүмкін. Ғарыш кемелерінің төтенше жағдайларының негізгі белгілері:

- батареялардың энергия сыйымдылығының жол берілмейтін жағдайына дейін төмендеуі;

- Күнге бағдарланудың болмауы;

- борттық цифрлық компьютердің қатып қалуы;

- ғарыш аппараттарының жабдықтарының дұрыс жұмыс істемеуі.

Мұндай жағдайларда ғарыш аппаратының өмір сүруін қамтамасыз ету алгоритмдері іске қосылады, соның ішінде келесі әрекеттер:

- оң энергия балансын сақтау;

- кеңейтілген температуралық төзімділік шегінде ғарыш аппараттарының құрылғыларының жылу режимін сақтау, бірақ олардың өнімділігін сақтау үшін қолайлы.

Ғарыш аппаратындағы авариялық жағдай телеметриялық жабдықпен (оқиға уақыты, есеп беру ақпараты) жазылады және ғарыш аппараты деректерді өңдеу орталығымен бірге радиокөріну аймағына кірген кезде деректерді өңдеу орталығына жібереді.

Мәліметтерді өңдеу орталығына төтенше жағдай туралы хабарлау үшін ғарыш аппаратында сигнал жасалады.

Ғарыш аппаратының жабдығының дұрыс жұмыс істемеуінен туындайтын төтенше жағдайлар, борттық аппаратура мен ғарыш аппаратының борттық есептеуіш кешені арасында ақпарат алмасуды қамтамасыз ететін әзірленген, бағдарламалық қамтамасыз ету арқылы пысықталады. Сондықтан, ғарыш аппаратын пайдалануға беру кезеңіне дейін ғарыш аппаратының борттық аппаратурасы мен борттық компьютерлік кешенінің өзара әрекеттесуіне мұқият сынақтан өткізу, сондай-ақ ғарыштық аппаратты пайдалану кезінде төтенше жағдайлар туындаған кездегі іс-қимылдардың белгілі бір кешенін жүргізу қажет. Ақпарат алмасу: төтенше жағдайларды болдырмау және жұмыс қабілеттілігін қалпына келтіру үшін қайта конфигурациялау. Бұл әрекеттерді жүзеге асыру ғарыш аппаратының тұрақты жұмыс істеуін талап етуге ықпал етеді.

4.3.3 ҒА борттық бағдарламамен қамтамасыз ету

Ғарыш аппаратының борттық бағдарламалық құралы енгізілген бағдарламалық қамтамасыз ету класына жатады және бір технологияны пайдалана отырып әзірленген және бір аппараттық-бағдарламалық қамтамасыз ету ортасында жұмыс істейтін борттық ішкі жүйелердің жеке бағдарламалық құралдарының жиынтығы болып табылады. Қоршаған ортаның негізін, жалпы жүйелік бағдарламалық қамтамасыз ету және ғарыш аппаратының борттық цифрлық есептеуіш кешені (борттық цифрлық компьютерлік жүйе) құрайды. Борттық бағдарламалық қамтамасыз етудің жұмыс істеуінің аппараттық ортасы, борттық цифрлық компьютер, сондай-ақ ғарыш аппаратының борттық жабдығы болып табылады. Онымен борттық бағдарламалық қамтамасыз ету үшін және тапсырмаларды орындау үшін керек.

Стандартты борттық бағдарламалық құралды әзірлеу циклі мыналарды қамтиды:

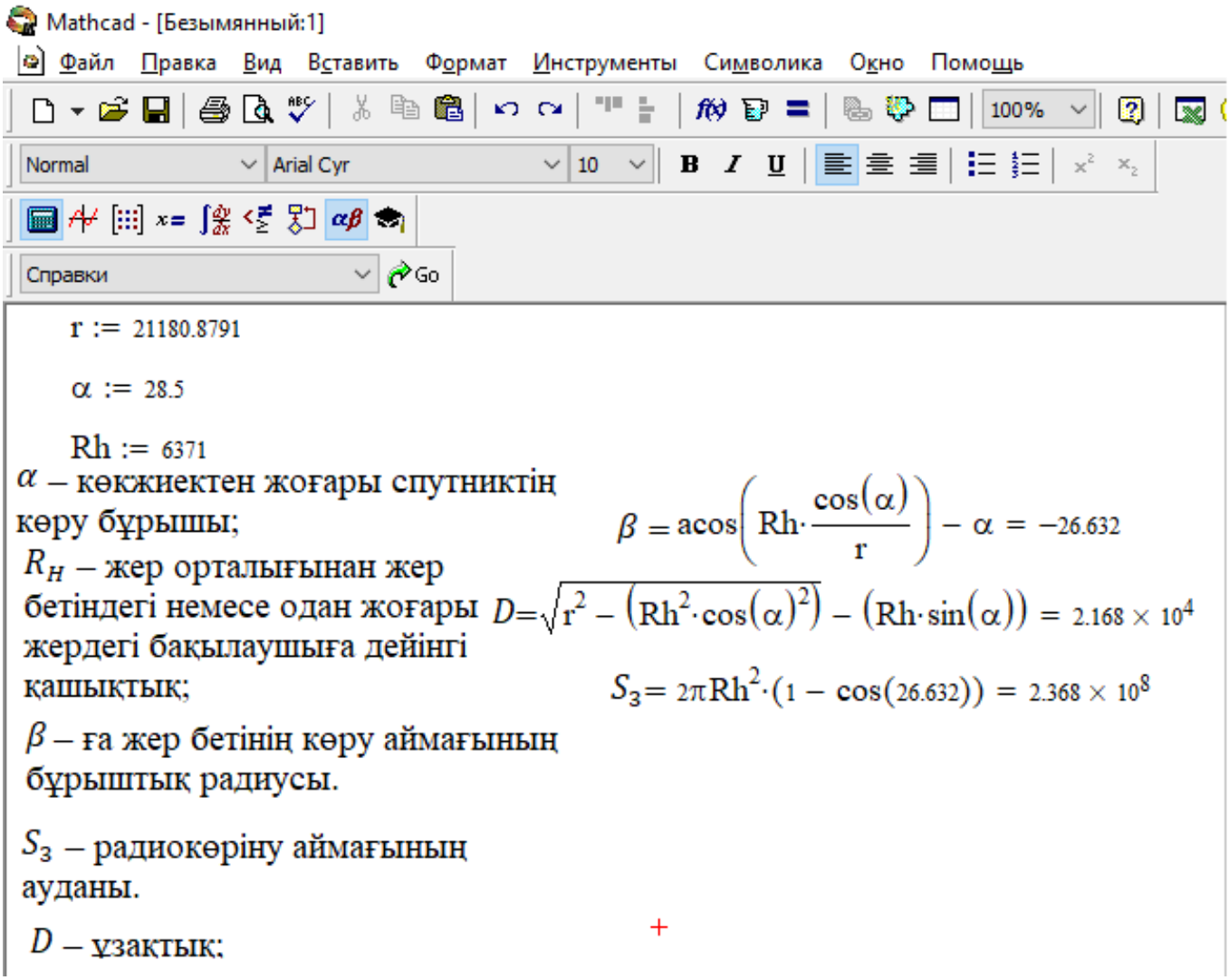
- жүйелік бағдарламалық құралға қойылатын талаптарды анықтау;
- жүйелік бағдарламалық қамтамасыз етудің архитектуралық жобасын әзірлеу;

- жүйелік бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу және автономды тестілеу;
- жүйелік режимдерде жүйелік бағдарламалық қамтамасыз етуді жүйелік тестілеу;
- ғарыш аппараттарының режимдерінде бағдарламалық қамтамасыз етуді жүйелік сынақтан өткізу;
- электрлік және радиотехникалық сынақтар мен ұшу сынақтары сатысында ғарыш аппаратының құрамындағы бағдарламалық қамтамасыз ету;
- жүйелі жұмыс кезеңінде жүйелік бағдарламалық қамтамасыз етуді қамтамасыз ету.

Қажет болған жағдайда стандартты борттық бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу циклінде алдыңғы кезеңдерге оралу үшін түзетулер енгізіледі. Осы кезеңдерді сәтті аяқтаған жағдайда әзірленген борттық бағдарламалық қамтамасыз ету ғарыш аппаратының жабдығымен жұмыс істеу үшін пайдаланылады, борттық бағдарламалық қамтамасыз ету ғарыш аппаратының құрамында оның белсенді қызмет ету мерзімінің соңына дейін жабдықпен жұмыс істеу үшін сақталады. Берілген деректерді өңдеу алгоритмдерінің сенімді орындалуын қамтамасыз ету, қолда бар борттық есептеу ресурстарын имитациялау үшін борттық бағдарламалық жасақтама логикасын алдын ала тестілеуге арналған көмекші құралдарды әзірлеу міндеті туындайды. Сондай-ақ жабдықтар мен жеке ғарыш аппараттары арасындағы ақпараттық өзара әрекеттесу кезінде, туындауы мүмкін төтенше жағдайларды жою.

4.3. Өзара көріну, радиокөріну аймағының ауданы есебі

Көкжиектен жоғарғы спутниктің көру бұрышын косинустар теоремасынан есептеп шығарып, β жер бетінің көру аймағының бұрыштық радиусына қол жеткізілді. Жер центрінен бақылаушыға дейінгі қашықтық пен көкжиектен жоғарғы спутниктің көру бұрышын мәнін игере отыра, D – бақылаушы мен спутник арасындағы қашықтық (ұзақтық) мәні есептелді. $S_З$ – радиокөріну аймағының ауданын, Жер орталығынан бақылаушыға дейінгі қашықтық квадраты мен тура пропорционал 2π мәнінен есептеп шығарылды (4.3-сурет).



4.3 Сурет - Радикөріну аймағының ауданын есептелуі

ҚОРЫТЫНДЫ

Орбиталық топтардың үздіксіз функционалды жақсаруы-спутниктік навигация мен байланыстың прогрессивті қолданылуы мен жақсаруының көрсеткіші.

Жұмыс барысында қолданыстағы жерсеріктік радионавигациялық жүйелерге (ГЛОНАСС, GPS) теориялық талдау жүргізілді, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері айқындалды. Мұндай талдауды жүргізу орбиталдық топтардың қазіргі түрін одан әрі жетілдірудің өзекті тәсілдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерінің ішкі және сыртқы жобалау алгоритмдерінің жүргізу жобалары қарастырылды.

Навигациялық спутниктердің радиокөріну аймағының ауданы есептелді. Сонымен қатар, GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу, Жердегі тұтынушылар қабылдайтын радионавигациялық өріс қуатын есептеу арқылы бір қорытындыға келуге болады. Есептелген нәтижелерге сәйкес ГЛОНАСС және GPS жүйесінің сигналдары бірдей шуылға төзімді екенін көруге болады. Сондықтан, күрделі кедергі жағдайында пайдаланушыларға өздерінің координаттарын анықтау үшін әртүрлі НҒА сигналдарын қабылдайтын тұтынушылардың көп жүйелік жабдықтарын қолданған жөн.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. G. T. French, Understanding the GPS: An Introduction to the Global Positioning System, Baker GeoResearch, 1997.
2. Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration. Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews. John Wiley & Sons, 2001.
3. Сетевые спутниковые радионавигационные системы. В. С. Шебшаевич, П.П. Дмитриев, Н.В. Иванцевич и др.; Под ред. В. С. Шебшаевича.- 2-е изд., перераб. И доп. - М.: Радио и связь, 1993. - 408 с.: ил.
4. Шилко И. И., Волошко Ю. Б., Ружилова О. В., Анисимова О. А. Анализ вариантов модернизации структуры орбитальной группировки системы ГЛОНАСС для обеспечения её конкурентоспособности // Космические аппараты и технологии. 2019. №1 (27). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-variantovmodernizatsii-struktury-orbitalnoy-gruppirovki-sistemy-glonass-dlya-obespecheniyaeyo-konkurentosposobnosti (дата обращения: 20.04.2019).
5. Ступак Г. Г., Лысенко Л. Н., Бетанов В. В., Звягин Ф. В., Райкунов К. Г. Состояние и перспективы совершенствования орбитальных структур навигационных спутниковых систем // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2014. №1 (94). URL: https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanieiperspektivy-sovershenstvovaniya-orbitalnyh-struktur-navigatsionnyh-sputnikovyhsistem.
6. Differential GPS: Concepts and Quality Control [Электронный ресурс] // Curtin University [Офиц. сайт]. URL: http: //gnss. curtin. edu.au/wpcontent/uploads/sites/21/2016/04/Teunissen1991Differential.pdf.
7. Алешин Б.С. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии / Под ред. Б.С. Алешина, К.К. Веремеенко, А.И. Черноморского - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. - 424 с.
8. ГОСТ Р 54460-2011. Глобальные навигационные спутниковые системы. Система мониторинга и контроля целостности. Общие технические требования и методы испытаний. - Введ. 2012-07-01. - М.: Стандартинформ, 2012. - 8 с.
9. Егорушкин А.Ю. Повышение точности автономной навигации подвижных объектов / А.Ю. Егорушкин, В.И. Мкртчян // Инженерный журнал: наука и инновации. - 2016. - №4 (52). - С. 10-22.
10. Моховиков И.С. Улучшение навигационных характеристик аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем в высоких широтах // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2012. №8.
11. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений. – М.: Либроком, 2017. – 416 с.
12. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. М. Советское радио. 1978г. – 384 с.: ил.

13. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под. ред. Перова А.И., Харисова В.Н. – изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.
14. Быховский М.А. Развитие спутниковых телекоммуникационных систем. – М.: Горячая линия - телеком, 2014. – 436 с.
15. Чеботарев В.Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения: учеб. пособие. В 2 кн. Кн. 1. Внешнее проектирование космического аппарата; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2004. – 132 с.
16. Бахшиян Б.Ц., Федяев К.С. Основы космической баллистики и навигации: Курс лекций. – М.: ИКИ РАН, 2013. – 119 с.
17. Чеботарев В. Е., Фатеев А. В. Особенности ориентации навигационных космических аппаратов // Космические аппараты и технологии. 2018. №2 (24).

ҚАБЫЛДАНҒАН ТЕРМИНДЕР ТІЗІМІ, ҚЫСҚАРТУЛАР ТІЗІМІ

АҚ	акционерлік қауымдастық
АҚШ	Америка құрама штаттары
АТО	ақпаратты талдау орталығы
ӘҒК	әскери ғарыш кемесі
ГЛОНАСС	ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе, (глобальная навигационная спутниковая система)
ҒА	ғарыш аппараты
ҒНСЖ	ғаламдық навигациялық спутниктік жүйе
ЗШТЕЖ	зымыран шабуылы туралы ескерту жүйесі
ЖРНЖ	жерсеріктік радионавигациялық жүйе
НҒА	навигациялық ғарыш аппараты
НС	навигациялық спутник
ӨЖБСЖ	өлшем жинаудың біріздендірілген станцияларының желісі
СРНЖ	спутниктік радионавигациялық жүйе
ШТС	шу тәрізді сигнал
IGS	халықаралық ҒНСЖ қызметі, (International GNSS Service)
IRNSS	Үнді аймақтық навигациялық спутниктік жүйесі, (Indian Regional Navigation Satellite System)
GPS	ғаламдық позициялау жүйесі, (Global Positioning System)
PDA	жеке сандық көмекші, (Personal Digital Assistant)
PPS	сатып алу қабілетінің паритеті, (Purchasing power parity)
QZSS	Квази-зениттік спутниктік жүйе, (Quasi-Zenith Satellite System)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ПІКІРІ

дипломдық жұмыс

Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

5В074600 – Ғарыштық техника және технологиялар

Тақырыбына: «ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу»

Дипломдық жұмыста Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдеріне зерттеу жасаған.

Жұмыс барысында қолданыстағы жерсеріктік радионавигациялық жүйелерге (ГЛОНАСС, GPS) теориялық талдау жүргізілген, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері айқындалған. Мұндай талдауды жүргізу орбиталдық топтардың қазіргі түрін одан әрі жетілдірудің өзекті тәсілдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыста ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерінің ішкі және сыртқы жобалау алгоритмдерінің жүргізу жобалары қарастырылған.

Студент дипломдық жұмысты жасауда өздігінен жұмыс істеу қабілетін көрсете алды. Дипломант Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы алдына қойған техникалық тапсырмаларды орындай алатынын, әдебиеттермен жұмыс істей алатынын көрсетті. Жалпы дипломдық жұмысты «91/А/жақсы» деп бағалап, ал студент Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы 5В074600 – «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы бойынша техника және технологиялар бакалавры біліктілігіне ұсынамын.

Ғылыми жетекші
т.ғ.м., ЭТжҒТ каф.лекторы
_____Боранбаева А.
«27» 05 2022 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

дипломдық жобаға

СЫН – ПІКІР

Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

5В074600 – Ғарыш техникасы және технологиялары

Тақрыбы: **ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу**

а) графикалық бөлімі 22 бет;
б) түсіндірме жазбасы 52 бет.

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Дипломдық жобада Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдеріне зерттеу жасаған.

Жұмыс барысында қолданыстағы жерсеріктік радионавигациялық жүйелерге (ГЛОНАСС, GPS) теориялық талдау жүргізілген, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері айқындалған. Мұндай талдауды жүргізу орбиталдық топтардың қазіргі түрін одан әрі жетілдірудің өзекті тәсілдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Дипломдық жұмыста ғаламдық навигациялық спутниктік жүйелерінің ішкі және сыртқы жобалау алгоритмдерінің жүргізу жобалары қарастырылған.

Навигациялық спутниктердің радиокөріну аймағының ауданы есептелген. Сонымен қатар, GPS және ГЛОНАСС жерсеріктік радионавигациялық жүйелері сигналдарының шуылға төзімділігін есептеу, Жердегі тұтынушылар қабылдайтын радионавигациялық өріс қуатын есептеу арқылы бір қорытындыға келуге болатынын дәлел қылған. Есептелген нәтижелерге сәйкес ГЛОНАСС және GPS жүйесінің сигналдары бірдей шуылға төзімді екенін көруге болады. Сондықтан, күрделі кедергі жағдайында пайдаланушыларға өздерінің координаттарын анықтау үшін әртүрлі НҒА сигналдарын қабылдайтын тұтынушылардың көп жүйелік жабдықтарын қолданған жөн деп дұрыс тұжырым жасаған.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ
СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Жұмыс бағасы

Жалпы, дипломдық жұмыс 5 (өте жақсы) деген бағаға, ал студент Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы 5В074600 - Ғарыш техникасы және технологиялары мамандығы бойынша техника және технологиялар «бакалавр» академиялық дәрежесіне ұсынылады.

Сын-пікір беруші
М. Әуезов атындағы
Оңтүстік Казакстан университетінің
профессоры т.ғ.докторы
Есмағамбетов Б.С. _____ (колы)
«27» 05 2022 ж.

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

Тақырыбы: ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу

Жетекшісі: Ерлан Таштай

1-ұқсастық коэффициенті (30): 3.5

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1.8

Дәйексөз (35): 1

Әріптерді ауыстыру: 13

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 49

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☒ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні *Кафедра меңгерушісі*

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: FHCЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 3.5

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 49

Знаки из здругих алфавитов: 13

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☑ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата *Заведующий кафедрой*

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Сүлейменов Сұлтан Дәуренұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: ҒНСЖ технологиялары негізінде бағдарлауды анықтау әдістері мен алгортимдерін зерттеу

Научный руководитель: Ерлан Таштай

Коэффициент Подобия 1: 3.5

Коэффициент Подобия 2: 1.8

Микропробелы: 49

Знаки из здругих алфавитов: 13

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☑ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт