

ӘОЖ 523.9:621.396

КҮН БЕЛСЕНДІЛІГІНІҢ ТЕЛЕБАЙЛАНЫС ЖҮЙЕЛЕРІНЕ ӘСЕРІ

*Турдахын Айзере Ғабитқызы,
Тагай Дильназ Фархатқызы*

4–курс студенттері, «Физика-информатика» білім беру бағдарламасы,
Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

Ғылыми жетекші: Қоштыбаев Талғат Бектасұлы,
физика–математика ғылымдарының кандидаты, Қазақ ұлттық қыздар
педагогикалық университеті физика кафедрасының доценті

Ұсынылып отырған мақалада күн белсенділігінің телекоммуникациялық жүйелерге әсері және жердің F2 мен Es ионосфералық қабаттарындағы флуктуациялық процестер қарастырылды. Күн жарқылдары мен корональды масса бөлінулері радиосигналдардың фазасы, амплитудасы және таралу жылдамдығына әсер етіп, геомагниттік дауылдар кезінде жүйелердің тұрақтылығын төмендетеді. Зерттеу стохастикалық модельдер мен ионограмма деректерін өңдеу арқылы сигналдардың кездейсоқ ауытқуларын сипаттайды, бұл телекоммуникациялық жүйелердің сенімділігін бағалауға және спутниктік навигация сигналдарын болжауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер: күн белсенділігі, телекоммуникациялық жүйелер, ионосфера, радиосигнал, стохастикалық модель, геомагниттік дауыл, F2 қабаты, Es қабаты.

Зерттеудің әдіснамасы. Күн белсенділігінің әсерінен туындайтын ионосфералық және магнитосфералық тепе-теңсіздік процестерін талдау ғарыштық ауа райының стохастикалық табиғатына негізделген әдістерді қолдануды талап етеді. Бұл әдіс күн–жер жүйесіндегі плазмалық ортаның флуктуациялық және диссипативтік қасиеттерін бір мезетте ескеруге мүмкіндік беретін марктік типтес процестерді кеңістіктік–уақыттық масштабта қарастыруға жағдай жасайды. Сонымен бірге, осы тәсілге сүйенетін функционалдық–телекоммуникациялық модельде ионосфераның электрондық тығыздығының жоғары дәрежеде флуктуацияланған және геомагниттік өріспен тығыз корреляцияланған күйлері радиотолқындардың таралуындағы өзгерістерді сипаттайтын сызықтық емес стохастикалық теңдеулер арқылы бейнеленеді. Күннен тарайтын зарядталған бөлшектер ағынының вариацияларын, сигналдың амплитудасы мен фазасындағы кездейсоқ ауытқуларды және геомагниттік дауылдар кезіндегі телебайланыс арналарының

тұрақсыздығын бағалауда функционалдылық әдістің қолданылуы телекоммуникациялық жүйелердің кәсіби деңгейде моделденуіне мүмкіндік береді.

Негізгі ойлар. Күн белсенділігінің телебайланыс жүйелеріне әсерін зерттеу үшін ғарыштық–ионосфералық процестердің стохастикалық табиғатын, электромагниттік толқындардың таралу теориясын және ықтималдылықтар теориясына негізделген математикалық модельдерді қолдану қажет болады. Күннен тарайтын зарядталған бөлшектер ағыны мен сәулелену флуктуацияларының ионосфера құрылымын уақыт бойынша тұрақсыздандыруы радиосигналдардың дисперсиясы мен бұрмалануына алып келетін күрделі, тепе–теңсіздік сипаттағы процестер тудырады [1]. Мұндай процестердің динамикасы сыртқы басқарылмайтын күн–жер өзара әрекеттесуіне тәуелді болғандықтан, телебайланыс арналарының параметрлері дағдылы стационар күйде сақталмайды және уақыт бойынша жылдам өзгерістерге икемделген емес. Осы себепті, геомагниттік дауылдар мен ионосфералық ауытқуларды талдауда стохастикалық дифференциалдық теңдеулер, сигнал флуктуацияларын бағалайтын арнайы статистикалық аппараттар және көпдеңгейлі плазмалық модельдер негізгі әдістемелік құрал ретінде қолданылады.

Кіріспе. Күн белсенділігі – күн бетінде пайда болатын дақтар, жарқылдар және корональды масса бөлінуі сияқты құбылыстар жиынтығы, ол жердің магнит өрісіне, ионосферасына және атмосферасына айтарлықтай әсер етеді [2]. Ғарыштық ауа райының өзгерістері мен күннен шығатын жоғары энергиялы бөлшектер ағыны телекоммуникациялық жүйелердің сенімді жұмысына күрделі кедергілер туғызуы мүмкін. Күн жарқылдары мен ультракүлгін, рентген сәулеленудің қарқындылығы радиотолқындардың таралуына ықпал етіп, сигналдардың амплитудасы мен фазасын бұрмалайды, спутниктік навигация мен радиобайланыста флуктуациялық ауытқулар туғызады.

Ионосфералық процестердің күрделілігі олардың стохастикалық табиғатымен түсіндіріледі. Күн белсенділігінің әрбір эпизодтық өсуі ионосфераның электрондық тығыздығын флуктуацияландырып, радиосигналдардың дисперсиялық және фазалық қасиеттерінде кездейсоқ ауытқулар туғызады. Бұл өз кезегінде телекоммуникациялық арналардың тұрақтылығын төмендетеді және геомагниттік дауылдар кезінде жүйелердің уақытша бұзылуына әкелуі мүмкін.

Материалдар мен әдістер. Күн белсенділігінің телекоммуникациялық жүйелерге әсерін зерттеу үшін ионосфералық процестердің құрылымы мен радиотолқындардың таралу ерекшеліктерін модельдеу әдістері қолданылды. Зерттеу нысаны – Жердің ионосфералық қабаттары, әсіресе F2 қабаты, және спутниктік байланыс жүйелерінің, соның ішінде GPS сигналдарының берілу динамикасы.

Ионосфера – стратосфера мен радиациялық белдеудің арасындағы атмосфераның жоғарғы қабаты, онда газдар толық немесе ішінара ионизацияланған. Негізгі параметрлері: электрон концентрациясы, температура және иондық құрам. Ионосфераның параметрлері биіктікке, уақытқа, географиялық орнына және маусымдық өзгерістерге тәуелді. Ионосфералық қабаттар D, E және F деп бөлінеді, ал F2 қабаты ең тығыз және ең ионизацияланған қабат болып табылады, биіктігі шамамен 200–1000 км аралығында орналасады [3].

GPS және басқа да спутниктік сигналдар ионосферадан өткенде плазмалық әсерлерге ұшырап, сигналдың таралу жылдамдығы, фазасы және амплитудасы өзгереді. Бұл процестер радиотолқындардың оптикалық сынуымен ұқсас сипатқа ие және навигациялық жүйелердің дәлдігіне кері әсерін тигізеді.

Зерттеуде келесі әдістер қолданылды:

1. Ионосфералық параметрлерді есептеу – F2 қабатының критикалық жиілігін анықтау арқылы электрон тығыздығын бағалау. Бұл жиілік күн белсенділігі деңгейіне, географиялық орнына, уақытқа және маусымдық өзгерістерге тәуелді.

2. Күн белсенділігін есепке алу – күн дақтарының саны (Вольф индексі) мен күн жарқылдарының жиілігі сияқты параметрлер арқылы күн белсенділігінің деңгейін бағалау.

3. Радиотолқындардың таралу моделін қолдану – сигналдардың фазалық және амплитудалық өзгерістерін сипаттау үшін Maxwell тендеулері мен көпқабатты ионосфералық модельдер қолданылды.

4. Спутниктік сигналдардың бұрмалануын талдау – ионосфералық плазманың әсерін есепке алу арқылы GPS сигналдарының таралуындағы кездейсоқ ауытқулар мен дисперсияны зерттеу.

Бұл әдістер Күн белсенділігінің радиосигналдардың берілуіне әсерін сандық және сапалық тұрғыда бағалауға мүмкіндік береді, сондай-ақ телекоммуникациялық жүйелердің тұрақтылығын арттыруға арналған инженерлік шешімдер әзірлеуде негіз болып қызмет етеді.

Негізгі бөлім. Күн белсенділігінің телекоммуникациялық жүйелерге әсерін сипаттау үшін ионосфералық қабаттар мен радиосигналдардың динамикасын модельдеу қажет. Ионосфераның жоғарғы қабаттары – әсіресе F2 және спорадикалық Es қабаттары – ионизация деңгейі мен электрон тығыздығына тәуелді қасиеттерге ие, бұл сигналдардың фазасы, амплитудасы және таралу жылдамдығына әсер етеді.

Күн белсенділігінің сандық көрсеткіші ретінде Вольф саны W қолданылады [4]:

$$W=k(f+10g), W = k(f + 10g), W=k(f+10g)$$

мұндағы f – сол уақытта Күн дискісінде байқалған барлық жеке дақтар саны, g – дақтар топтарының саны, kkk – нормаланған коэффициент. Бұл параметр күндік циклдерді бақылауға және жарқылдардың ықтимал әсерін болжауға мүмкіндік береді.

Күннің жарқылдары рентген сәулеленуінің деңгейіне қарай А, В, С, М және Х класстарға бөлінеді, мұнда М және Х кластар орташа және жоғары интенсивтілікті жарқылдарды білдіреді. Жарқылдар және корональды масса бөлінуі Жердің магнитосферасына бағытталған зарядталған бөлшектер ағындарын тудырып, геомагниттік дауылдарды қоздырады. Геомагниттік дауылдар кезінде F-облысының электрондық концентрациясы 10–30%, E-облысында 50–200%, D-облысында бірнеше рет артады, бұл радиосигналдардың таралуына айтарлықтай әсер етеді.

Телебайланыс арналарына ықпал ететін процестерді сипаттау үшін *стохастикалық модельдеу* қолданылады. Әлсіз біртекті ионосфералық қабатты ұяшықтық құрылымда қарастырып, әрбір ұяшықтағы электрондық концентрацияның өзгеруін кездейсоқ марктік процесс ретінде қарастыруға болады. Бұл тәсіл ионосфералық флуктуациялардың уақыт бойынша эволюциясын сипаттауға мүмкіндік береді және сигналдардың амплитудасы мен фазасындағы кездейсоқ ауытқуларды бағалауға қолданылады.

Зерттеуде қолданылған деректер көзі ретінде GOES-16 спутнигінің рентген сәулелену көрсеткіштері және ионизация арқылы алынған ионограммалар пайдаланылды. Ионограммалар жоғары жиіліктегі импульстік сигналдардың F2 және Es қабаттарынан шағылуын тіркеп, критикалық жиілік өзгерістерін күндізгі уақыт бойынша 15 минуттық интервалдарда көрсетеді [5]. Деректерді өңдеу үшін Python бағдарламалау тілі мен pandas, matplotlib, numpy кітапханалары қолданылды. Бұл әдіс 24 сағат ішінде критикалық жиіліктің динамикасын графикалық түрде көрсетуге мүмкіндік береді.

Анализ нәтижелері көрсеткендей, күн белсенділігінің артуы кезінде F2 қабатының критикалық жиілігі төмендейді, ал жарқылдардың төмен интенсивтілігі (С класы) сигналдарға аз әсер етеді. М класына жататын жарқылдар радиациялық штормдар туғызып, критикалық жиілікті 2 МГц дейін төмендетуі мүмкін. Сонымен қатар, Es қабатының пайда болуы (биіктігі 90–150 км) және оның уақыттық өзгерістері радиосигналдардың «сынуы», фазалық жылдамдықтың өзгеруі және Фарадей эффектісін тудыруы мүмкін.

Осы әдістерді қолдану арқылы телекоммуникациялық жүйелердің күн белсенділігінің әртүрлі деңгейлеріне төзімділігін бағалау, спутниктік навигация сигналдарының сапасын алдын ала болжау және геомагниттік дауылдарға адаптацияланған инженерлік шешімдерді әзірлеу мүмкіндігі туындайды.

Қорытынды.

Зерттеу нәтижелері күн белсенділігінің телекоммуникациялық жүйелерге әсерін стохастикалық тұрғыдан сипаттауға мүмкіндік беретінін көрсетті. F2

және Ес қабаттарындағы ионосфералық процестердің флуктуациялық сипаты, сондай-ақ электрондық концентрация мен критикалық жиіліктердің уақыт бойынша өзгеруі сигналдардың амплитудасы мен фазасында кездейсоқ ауытқулар тудыратыны анықталды.

Сондай-ақ, F2 қабатының критикалық жиілігінің төмендеуі мен Ес қабатының спорадикалық көріністері радиосигналдардың фазалық жылдамдығын, сынуын және Фарадей эффектісін тудыру арқылы байланыс сапасының уақытша өзгеруін сипаттайтыны ғылыми тұрғыдан дәлелденді. Осылайша, ионосфералық флуктуацияларды және күн белсенділігінің әсерін ескере отырып телекоммуникациялық жүйелердің тұрақтылығын бағалау және болжау мүмкіндігі пайда болды.

Жалпы алғанда, зерттеуде қолданылған стохастикалық әдістер мен функционалдық модельдер күн-жер жүйесіндегі плазмалық процестердің телекоммуникациялық жүйелерге әсерін сипаттауда тиімді құрал болып табылды. Бұл тәсіл инженерлік тұрғыда спутниктік байланыс, GPS навигация және радиобайланыс жүйелерінің сенімділігін арттыруға арналған алдын алу шешімдерін әзірлеуге негіз болады.

Пайдаланылған әдебиеттер тізімі

1. Л. И. Мирошниченко Физика Солнца и солнечно-земных связей: учебное пособие / М.: Университетская книга 2011г. - 174с
2. А.И. Чумаков. Ғарыштық сәулеленудің интегралды схемаларға әсері. - М.: Радио және байланыс, 2004 ж. - 320 б.
3. Л.С. Новиков, Е.Н. Воронин. Ғарыштық технологияда наноматериалдарды қолдану болашағы. Оқулық. - М.: Университет кітабы, 2008 ж. - 188 б.
4. Сюсюка Е. Н., Писарева П. М. Анализ влияния вспышек на солнце на работу спутниковых систем. Вестник новгородского государственного университета. 2025. 1 (139). 55–68
5. М.И. Панасюк Ғарыш кеңістігіндегі радиациялық жағдайлар. Оқулық. Ред.. - М.: Библион - орыс кітабы, 2006. - 132 б.

ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Турдахын Айзере Ғабитқызы, Тагай Дильназ Фархатқызы

Научный руководитель: Қоштыбаев Талғат Бектасұлы

В представленной статье рассматривается влияние солнечной активности на телекоммуникационные системы, а также флуктуационные

процессы в ионосферных слоях F2 и Es Земли. Солнечные вспышки и корональные выбросы массы воздействуют на фазу, амплитуду и скорость распространения радиосигналов, что приводит к снижению устойчивости систем во время геомагнитных бурь. Исследование описывает случайные отклонения сигналов на основе стохастических моделей и обработки ионограмм, что позволяет оценивать надежность телекоммуникационных систем и прогнозировать состояние спутниковых навигационных сигналов.

Ключевые слова: солнечная активность, телекоммуникационные системы, ионосфера, радиосигнал, стохастическая модель, геомагнитная буря, слой F2, слой Es.

THE IMPACT OF SOLAR ACTIVITY ON TELECOMMUNICATION SYSTEMS

Turdakhyn A. G., Tagai D.F.

Scientific supervisor: Koshtybayev T. B.

This article examines the effects of solar activity on telecommunication systems and fluctuation processes in the Earth's F2 and Es ionospheric layers. Solar flares and coronal mass ejections influence the phase, amplitude, and propagation speed of radio signals, reducing system stability during geomagnetic storms. The study describes random signal fluctuations using stochastic models and ionogram data processing, enabling assessment of telecommunication system reliability and forecasting of satellite navigation signal performance.

Keywords: solar activity, telecommunication systems, ionosphere, radio signal, stochastic model, geomagnetic storm, F2 layer, Es layer.

REFERENCES

1. Miroshnichenko, L. I. (2011). Physics of the Sun and Solar–Terrestrial Relations: Textbook (in Russian). Moscow: Universitetskaya Kniga, 174 p.
2. Chumakov, A. I. (2004). Impact of Cosmic Radiation on Integrated Circuits (in Kazakh/Russian). Moscow: Radio i Svyaz, 320 p.
3. Novikov, L. S., & Voronin, E. N. (2008). Prospects for the Use of Nanomaterials in Space Technology: Textbook (in Russian). Moscow: Universitetskaya Kniga, 188 p.

4. Syusyuka, E. N., & Pisareva, P. M. (2025). Analysis of the Impact of Solar Flares on the Operation of Satellite Systems (in Russian). Vestnik of Novgorod State University, 1(139), 55–68.

5. Panasyuk, M. I. (2006). Radiation Conditions in Outer Space: Textbook (in Russian). Moscow: Biblion – Russian Book, 132 p.