DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

DVB-T2 STANDARTIDAGI RAQAMLI TELEVIZION TIZIMLARDA SIGNAL SIFAT PARAMETRLARINI O‘LCHASH VA NAZORAT QILISH USULLARI

Yarmuxamedov A.A., *v.v.b. professor,*
E-mail: yarmukhammedov@tdtu.uz,
Radiotexnik qurilmalar va tizimlar kafedrasi,
Bo‘riyev U., *assistent,*
Radiotexnik qurilmalar va tizimlar kafedrasi,
E-mail: boriyev.ulash@tdtu.uz
Toshkent davlat texnika universiteti

Annotatsiya. *Maqolada DVB-T2 standarti asosidagi raqamli televizion tizimlarda signal sifat parametrlarini o‘lchash va nazorat qilish hamda xalaqitbardosh qabul qilish usullari tahlil qilingan. Qabul sifatini baholashda bit xatolik ehtimolligi (BER), bit energiyasining shovqin spektral zichligiga nisbati (E_b/N_0), signal spektri va yulduz turkumi diagrammasi kabi ko‘rsatkichlar o‘rganilgan. QPSK modulyatsiyasi asosida AWGN, Rays va Releу kanallarining signalni qabul qilish sifatiga ta’siri tahlil etilgan. Olingan natijalar signal sifatini baholashda mazkur parametrlarni birgalikda nazorat qilish va xalaqitbardosh qabul qilish usullarini takomillashtirish imkoniyatlarini asoslaydi.*

Abstract. *This article analyzes methods for measuring and monitoring signal quality parameters as well as noise-immune reception techniques in digital television systems based on the DVB-T2 standard. To evaluate reception quality, key performance metrics such as bit error rate (BER), the ratio of energy per bit to noise power spectral density (E_b/N_0), signal spectrum, and constellation diagram were investigated. The impact of AWGN, Rician, and Rayleigh fading channels on signal reception performance was examined under QPSK modulation. The obtained findings substantiate the necessity of joint monitoring of these parameters to accurately assess signal quality and optimize noise-immune reception methods.*

Аннотация. *В статье проведен анализ методов измерения и контроля качественных параметров сигнала, а также способов помехоустойчивого приема в системах цифрового телевидения стандарта DVB-T2. Для оценки качества приема исследованы такие показатели, как вероятность битовой ошибки (BER), отношение энергии бита к спектральной плотности мощности шума (E_b/N_0), спектр сигнала и диаграмма созвездия (констелляция). На основе модуляции QPSK проанализировано влияние каналов АБГШ (AWGN), Райса и Рэлея на качество приема сигнала. Полученные результаты обосновывают возможности комплексного контроля данных параметров при оценке качества сигнала и совершенствования методов помехоустойчивого приема.*

Kalit so‘zlar*: DVB-T2, raqamli televideniye, signal sifat parametrlari, o‘lchash va nazorat qilish, xalaqitbardosh qabul, QPSK modulyatsiyasi, bit xatolik ehtimolligi (BER, E_b/N_0), signal spektri, yulduz turkumi diagrammasi, AWGN kanali, Rays so‘nish kanali, Releу so‘nish kanali.*

Keywords: *DVB-T2, digital television, signal quality parameters, measurement and monitoring, noise-immune reception, QPSK modulation, bit error rate (BER, E_b/N_0), signal spectrum, constellation diagram, AWGN channel, Rician fading channel, Rayleigh fading channel.*

Ключевые слова: *DVB-T2, цифровое телевидение, параметры качества сигнала, измерение и контроль, помехоустойчивый прием, модуляция QPSK, вероятность битовой ошибки (BER, E_b/N_0), спектр сигнала, диаграмма созвездия, канал АБГШ, канал замираний Райса, канал замираний Рэлея.*

Kirish: DVB-T2 tizimida raqamli televizion signalni ishonchli qabul qilish uzatish va qabul qilish qurilmalari parametrlariga hamda radio kanalidagi shovqin va xalaqitlarga bog‘liq.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

Qabul sifatini baholash uchun bit xatolik ehtimolligi (BER), E_b/N_0 nisbati, signal spektri va yulduz turkumi diagrammasi kabi ko‘rsatkichlarni kuzatish mumkin. Ushbu ko‘rsatkichlarni turli kanal sharoitlarida solishtirish va xalaqitlarning qabulga ta’sirini aniqlash imkonini beradi [1-3].

Raqamli televizion signalni qabul qilishni tahlil qilishda quyidagi jarayonlar hisobga olinadi:

- audio-vizual axborot uzatish uchun bitlar ketma-ketligi shakllantiriladi va modulyatsiya orqali kanal belgi (simvol)lariga aylantiriladi;
- uzatgich belgi (simvol)lar ketma-ketligini kanalga uzatadi; qabul qilgich esa demodulyatsiya orqali uzatilgan belgi (simvol)larni tiklaydi. Simvol davomiyligi va modulyatsiya tartibi uzatish tezligi hamda qabul sifatiga ta’sir qiladi.

Qabul qilgich demodulyatori qabul qilingan signal asosida uzatilgan belgini baholaydi. Kanalda shovqin va xalaqit mavjud bo‘lsa, belgini noto‘g‘ri aniqlash ehtimoli ortadi; shu sababli demodulyatsiya natijalari sifat ko‘rsatkichlari bilan birga tahlil qilinadi. Qabul qilingan signalning spektri va yulduz turkumi demodulyatsiya holatini ko‘rsatadi. Yulduz turkumi nuqtalarining tarqalishi faza va amplituda buzilishlarini aks ettirishi mumkin, BER esa bitlar darajasidagi xatolar ulushini ifodalaydi [4-7].

Raqamli aloqa kanalida tabiiy va sun’iy shovqinlar signalning buzilishiga olib kelishi mumkin. Natijada qabul qilgich uzatilgan bitlarni xato aniqlaydi va BER qiymati ortadi.

Shovqin darajasi kamayib, signal/shovqin nisbati oshganda odatda xatolik ehtimolligi pasayadi. Aksincha, kanal sharoiti yomonlashganda demodulyatsiya xatolari ko‘payadi. Shu sababli BER va E_b/N_0 orasidagi bog‘lanish qabul sifatini baholashda muhim hisoblanadi. Raqamli modulyatsiyada axborot signali tashuvchi tebranish parametrlarini o‘zgartiradi. Tashuvchining amplitudasi, chastotasi va fazasidagi og‘ishlar qabul qilinayotgan signalning spektri hamda yulduz turkumiga ta’sir ko‘rsatishi mumkin. Raqamli kanalning o‘tkazish qobiliyati modulyatsiya tartibi va kanal polosasi bilan bog‘liq. Ko‘p pozitsiyali modulyatsiyada bir belgi orqali uzatiladigan bitlar soni ortadi, biroq shovqin sharoitida belgilarni ishonchli ajratish talabi ham kuchayadi.

$$fp=Blog2M \qquad (1)$$

Signal yulduz turkumi nuqtalari bilan uzatiladigan bitlar kombinatsiyasi orasidagi moslik modulyatsiya sxemasini belgilaydi. Xalaqitbardoshlikni baholashda xatolik ehtimolligi, E_b/N_0 va qabul qilingan belgi (simvol)larning yulduz turkumidagi joylashuvi birgalikda ko‘rib chiqiladi.

Shu bois modulyatsiya tartibi tanlanganda uzatish tezligi bilan birga talab etiladigan qabul sifati va kanal sharoiti ham hisobga olinishi lozim.

Ushbu ishda BER ning E_b/N_0 ga bog‘liqligi nazariy va modellashtirish asosida tahlil qilingan. QPSK modulyatsiyasi uchun xatolik ehtimolligi quyidagi ifodalar yordamida baholanadi [2]:

$$P_{osh} = Q\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \qquad (2)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_x^{\infty} exp\left[-\frac{U^2}{2}\right]du \qquad (3)$$

$$x > 0$$

$$P_S = 1-(1-P_b)^2 = 1-1+2P_b-P_b^2 = 2P_b-P_b^2 = 2Q\sqrt{\frac{E_S}{N_0}} - Q^2\left(\sqrt{\frac{E_S}{N_0}}\right)^2 = 2Q\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} - Q^2\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)^2 \qquad (4)$$

bu yerda:$E_S = 2E_b$, Eb – bitta bit energiyasi;

Es – bitta belgi (simvol) energiyasi;

Ps – belgi (simvol) xatoligi ehtimolligi;

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

Posh – bit xatoligi ehtimolligi;
N0 – shovqin spektral zichligi;
E – signal energiyasi;
Q(x) – Gauss xatolik funksiyasi.
BER – xato qabul qilingan bitlar sonining jami qabul qilingan bitlar soniga nisbati; Eb/N0 esa bit energiyasining shovqin spektral zichligiga nisbatini ifodalaydi.

Raqamli tizim samaradorligini baholashda BER va E_b/N_0 ko‘rsatkichlari qo‘llanadi. BER qabul qilingan bitlar orasidagi xatolar ulushini ko‘rsatsa, E_b/N_0 shovqin sharoitida bitni ishonchli aniqlash imkoniyatini tavsiflaydi. Shu ko‘rsatkichlar turli kanal modellari va modulyatsiya holatlarini taqqoslashga yordam beradi.

DVB-T2 tizimining qabul qilish jarayoni signal sifatiga ta’sir qiluvchi kanal omillari o‘rganildi. Kanal ta’sirini solishtirish uchun Gauss shovqinli AWGN, Rays va Reley modellari ishlatildi. Har bir holatda BER, E_b/N_0, signal spektri va yulduz turkumi kabi kuzatiladigan ko‘rsatkichlar qabul sifatini baholash uchun asos bo‘ldi. AWGN modeli foydali signalga qo‘shiladigan oq Gauss shovqinining ta’sirini baholash uchun qo‘llanadi.

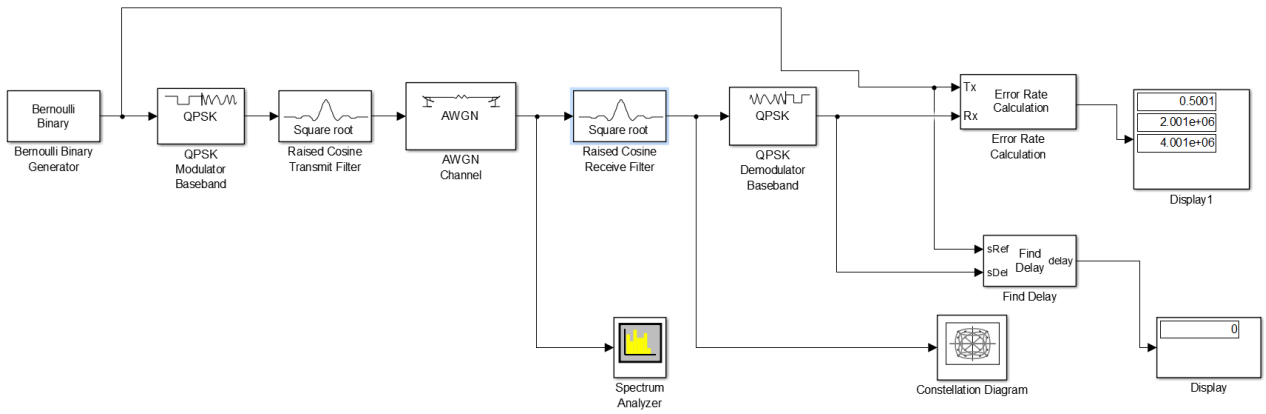
Birinchi modelda BER va xato qabul qilingan bitlar sonining Eb/N0 ga bog‘liqligi, shuningdek QPSK signalining spektri va yulduz turkumi kuzatildi.

1-rasmda AWGN kanali uchun tuzilgan QPSK modelli tizim ko‘rsatilgan. Model Bernulli bit generatori, QPSK modulyatori va demodulyatori, uzatuvchi va qabul qiluvchi filtrlar, AWGN kanali, spektr analizatori, yulduz turkumi diagrammasi hamda xatolikni hisoblash bloklarini o‘z ichiga oladi. DVB-T2 tizimi parametrlaridan foydalanildi (1-jadval).

1-jadval

DVB-T2 tizimi parametrlari

№	Parametr nomi	Parametrning qiymati
1.	Chastota diapazoni: DMV	Kanalning chastota polosasi 8 MHz bo‘lgan (474-858) MHz
2.	Modulyatsiya turi	QPSK
3.	Chastota polosasi	8 MHz



1-rasm. AWGN kanali va QPSK modulyatsiyasi asosidagi qabul qilish modelining blok-sxemasi

1-rasmdagi model yordamida qabul sifatini ifodalovchi BER, xato qabul qilingan bitlar soni, signal spektri va yulduz turkumi tahlil qilindi. AWGN kanali uchun hisoblangan natijalari 2-jadvalda berilgan.

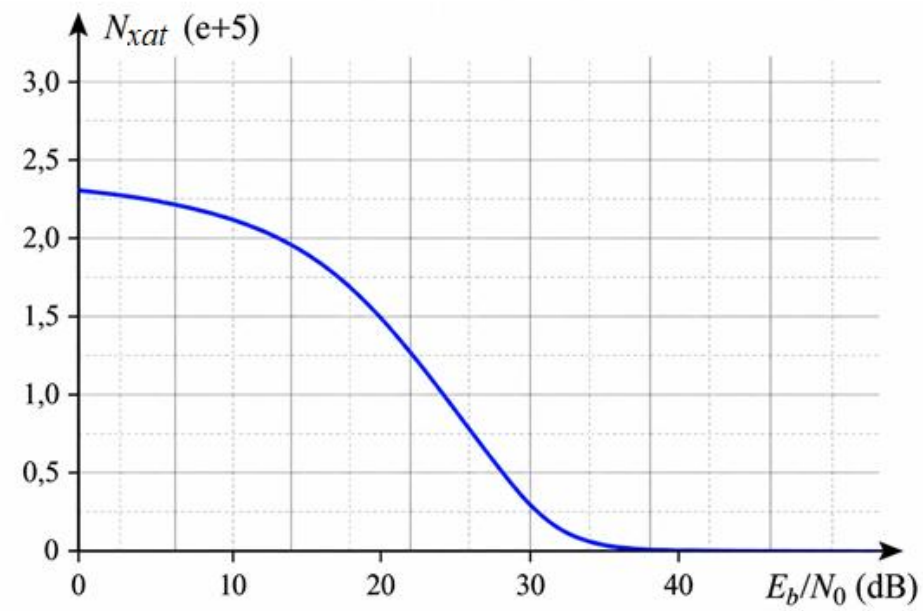
2-jadval

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

AWGN kanali uchun hisoblangan natijalar

№	Qabul qilingan bitlar soni	Xatolik bilani qabul qilingan bitlar soni	Bitli hatolik ehtimolligi	Eb/No (dB)
1.	5,002e+5	3,064e+5	0,4127	5
2.	5,007e+5	8,727e+5	0,5480	10
3.	5,003e+5	4,196e+5	0,3990	15
4.	5,008e+5	9,147e+4	0,5987	20
5.	5,009e+5	6,196e+3	0,01241	25
6.	5,001e+5	14	2,8e-5	30
7.	5,006e+5	0	0	35
8.	5,002e+5	0	0	40

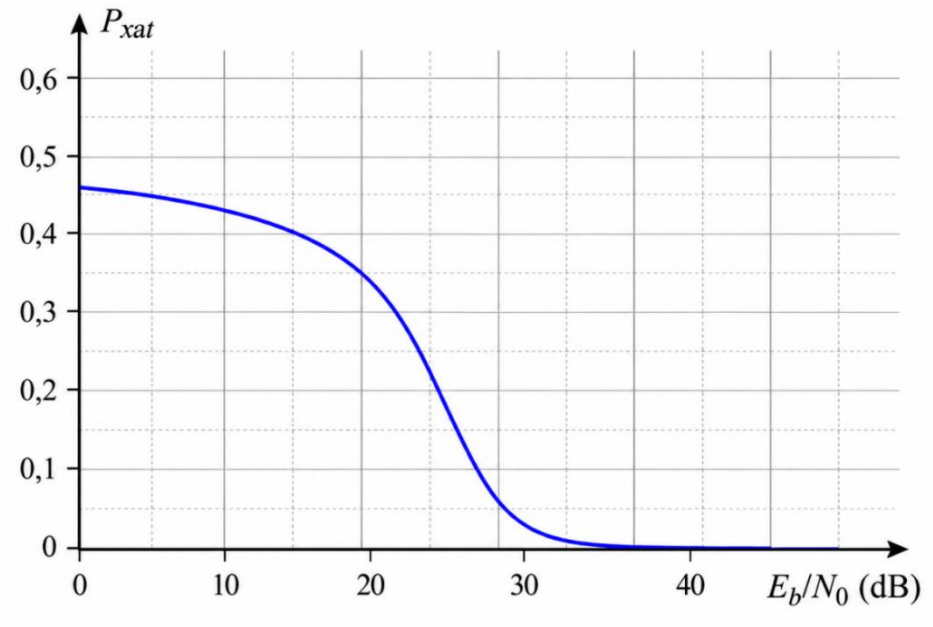
2-rasmda AWGN kanali uchun xato qabul qilingan bitlar sonining E_b/N_0 ga bog‘liqligi ko‘rsatilgan.



2-rasm. Xato qabul qilingan bitlar sonining Eb/N0 ga bog‘liqligi

3-rasmda BER ning E_b/N_0 ga bog‘liqligi keltirilgan. Ushbu grafik signal/shovqin sharoiti o‘zgarganda qabul sifatining qanday o‘zgarishini ko‘rsatadi.

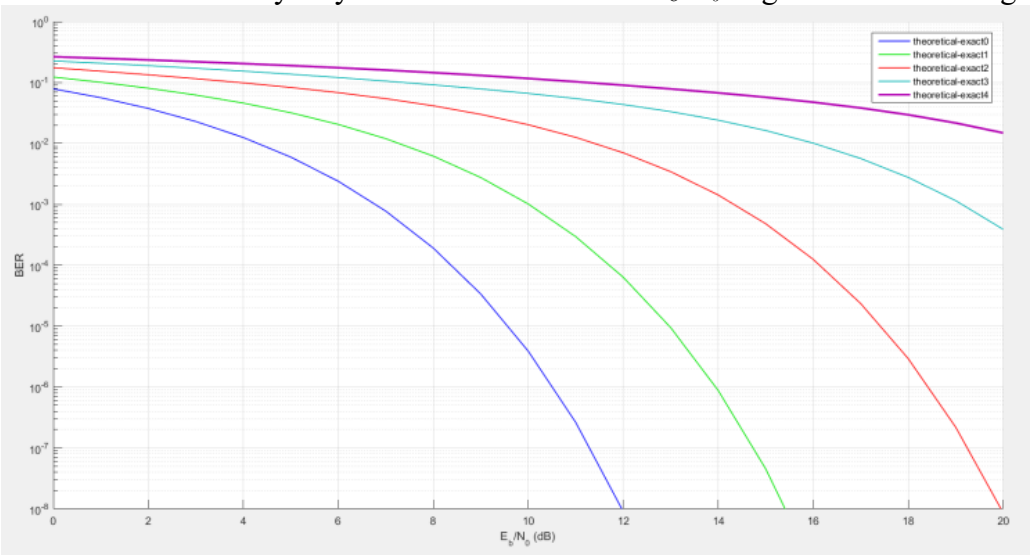
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53



3-rasm. BER ning E_b/N_0 ga bog‘liqligi

4-PSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK va 64-PSK modulyatsiyalari uchun BER ning Eb/N0 ga bog‘liqligi nazariy jihatdan solishtirilgan.

4-rasmda turli PSK modulyatsiya tartiblari uchun BER-E_b/N_0 bog‘lanishlari keltirilgan.



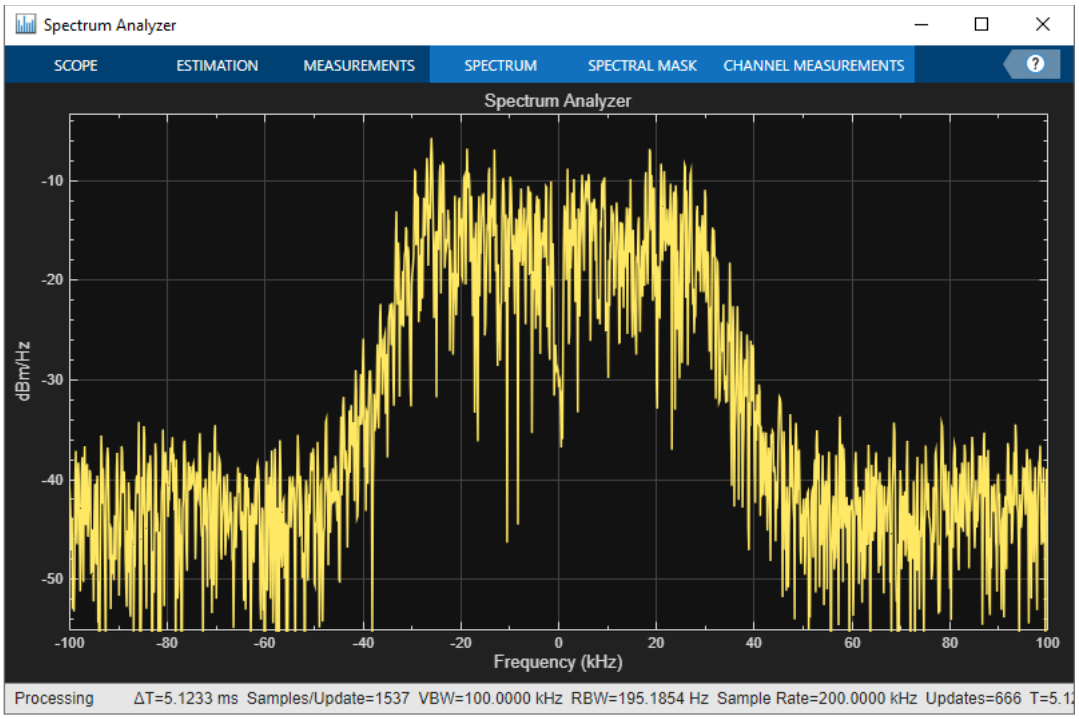
4-rasm. 4-PSK, 8-PSK, 16-PSK, 32-PSK va 64-PSK, Eb/N0=20dB dagi bit xatoligi ehtimolligining Eb/N0 ga logarifmik masshtabdagi bog‘liqlik grafiklari

Natijalar modulyatsiya tartibi oshganda bir xil kanal sharoitida belgi (simvol)larni to‘g‘ri aniqlash talablari kuchayishini ko‘rsatadi. Shu sababli modulyatsiya tanlovi signal sifati va xalaqitbardoshlik mezonlari bilan birga baholanishi kerak.

Yulduz turkumi diagrammasi modulyatsiyalangan signalning kompleks tekislikdagi holatini ko‘rsatadi. Nuqtalarning ideal joylashuvdan og‘ishi faza va amplituda buzilishlari yoki shovqin ta’sirini baholashga yordam beradi.

5-rasmda qabul qilgichdagi QPSK signal spektri tasvirlangan. Spektr shakli signalning chastota sohasidagi xususiyatlarini kuzatish imkonini beradi.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

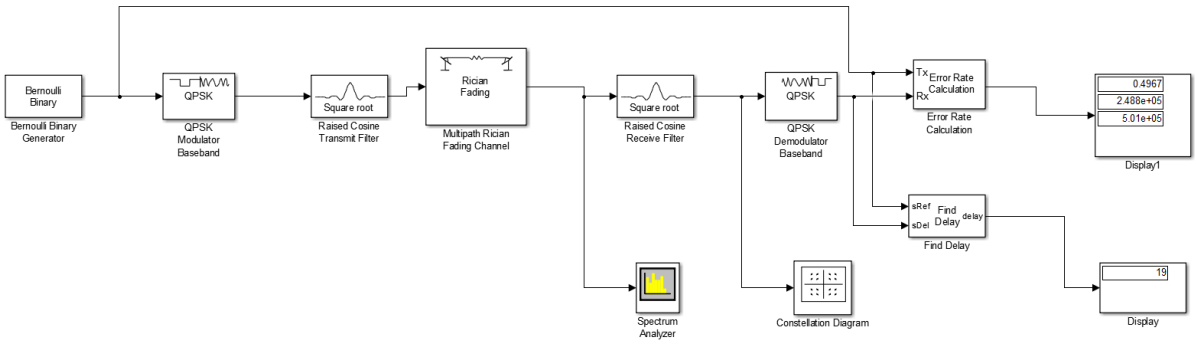


5-rasm. QPSK signalining qabul qilgichdagi spektri

Rays so‘nish kanali uchun tuzilgan modelda BER, xato qabul qilingan bitlar soni, QPSK signal spektri va yulduz turkumi tahlil qilindi.

6-rasmda Rays so‘nish kanali uchun QPSK modulyatsiyasiga asoslangan DVB-T2 qabul qilish modelining blok-sxemasi berilgan.

Rays so‘nish kanali foydali signalning to‘g‘ridan-to‘g‘ri komponenti bilan birga aks etgan komponentlar mavjud bo‘lgan tarqalish sharoitlarini ifodalaydi. Model ushbu kanal ta’sirini qabul sifatiga nisbatan baholash uchun ishlatiladi.



6-rasm. Rays so‘nish kanali uchun QPSK asosidagi qabul qilish modelining blok-sxemasi

6-rasmdagi model orqali Rays so‘nish kanali sharoitida qabul sifatiga ta’sir qiluvchi ko‘rsatkichlar o‘rganildi.

Rays so‘nish kanali bo‘yicha natijalar 3-jadvalda keltirilgan. Jadvaldagi BER va xato bitlar soni qiymatlari kanal parametrlariga bog‘liq ravishda taqqoslanadi. Natijalarni talqin qilishda jadvaldagi raqamlar va parametr birliklarini birgalikda tekshirish zarur.

3-jadval

Rays so‘nish kanali bo‘yicha natijalar

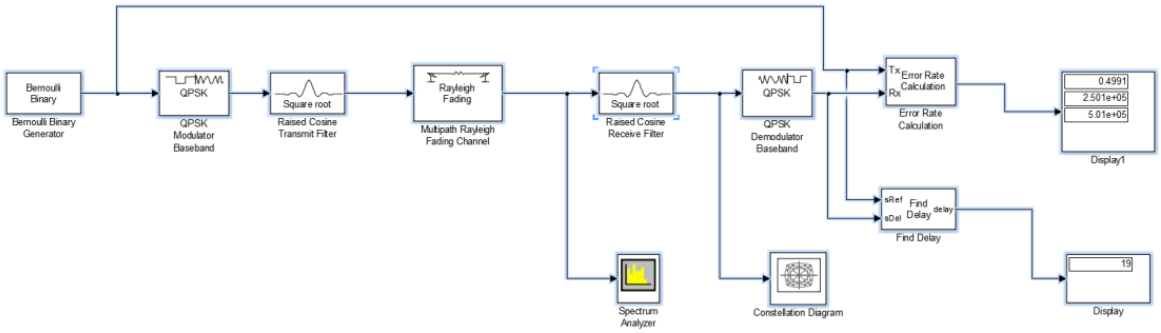
DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

№	Qabul qilingan bitlar soni	Xatolik bilani qabul qilingan bitlar soni	Bitli hatolik ehtimolligi	Faza (gradus)
1.	5,001e+5	2,429e+5	0,2518	π/4
2.	5,002e+5	3,488e+5	0,2397	π/2
3.	5,004e+5	4,712e+5	0,1549	3π/2
4.	5,007e+5	5,859e+4	0,1927	2π

Releу so‘nish kanali uchun model yordamida BER ning Eb/N0 ga bog‘liqligi, xato qabul qilingan bitlar soni, signal spektri va yulduz turkumi o‘rganildi.

14-rasmda Releу so‘nish kanali uchun QPSK modulyatsiyasiga asoslangan DVB-T2 qabul qilish modelining blok-sxemasi keltirilgan.

Releу so‘nish kanali ko‘p yo‘lli tarqalish sharoitini modellashtirishda qo‘llanadi. Bunday sharoitda qabul qilingan signal amplitudasi va fazasi o‘zgarishi mumkin, bu esa demodulyatsiya xatolariga ta’sir qiladi.



7-rasm. Releу so‘nish kanali uchun QPSK asosidagi qabul qilish modelining blok-sxemasi

7-rasmdagi model orqali Releу so‘nish kanali sharoitida signal sifatiga ta’sir qiluvchi ko‘rsatkichlar tahlil qilindi. Releу so‘nish kanali bo‘yicha modellashtirish natijalari 4-jadvalda keltirilgan. Jadvalda xato bitlar soni va BER chastota siljishi qiymatlari bilan birga berilgan. Ko‘rsatilgan natijalar chastota siljishining ta’sirini baholash uchun ishlatiladi; qiymatlarning o‘zaro mosligi alohida tekshirilishi lozim.

4-jadval

Releу so‘nish kanali bo‘yicha modellashtirish natijalari

№	Qabul qilingan bitlar soni	Xatolik bilani qabul qilingan bitlar soni	Bitli hatolik ehtimolligi	Chastota siljishi (Gs)
1.	5,000e+5	2,501e+5	0,2499	10
2.	5,001e+5	2,502e+5	0,3003	20
3.	5,003e+5	2,506e+5	0,3749	30
4.	5,002e+5	2,504e+5	0,4299	40

DVB-T2 tizimida qabul sifatini baholash uchun kanal modeli, BER, Eb/N0, spektr va yulduz turkumi ko‘rsatkichlarini birgalikda kuzatish zarurligini ko‘rsatadi. AWGN, Rays va Releу kanallari signalga turlicha ta’sir qiladi; shu sababli qabul qilish usulini baholashda kanal sharoiti va qabul qilgich parametrlarini hisobga olish kerak.

DOI: 10.65322/j.srd.05192026.53

Xulosa. Ushbu tadqiqot ishida DVB-T2 standarti asosidagi raqamli televizion tizimlarda signal sifat parametrlarini o‘lchash va nazorat qilish hamda xalaqitbardosh qabul qilish usullarini takomillashtirish masalalari tadqiq etildi. QPSK modulyatsiyasi asosida AWGN, Rays va Releу kanallarining signalni qabul qilish sifatiga ta’siri modellashtirildi hamda bit xatolik ehtimolligi (BER), bit energiyasining shovqin spektral zichligiga nisbati (Eb/N0), signal spektri va yulduz turkumi diagrammasi kabi ko‘rsatkichlar o‘zaro bog‘liq holda tahlil qilindi.

Olingan natijalar AWGN kanalida Eb/N0 nisbatining ortishi bilan bit xatolik ehtimolligi va xato qabul qilingan bitlar soni kamayish tendensiyasiga ega ekanligini ko‘rsatdi. Xususan, modellashtirish natijalarida Eb/N0 qiymati 25 dB bo‘lganda BER 0,01241 ni, 30 dB bo‘lganda esa $2{,}8 \cdot 10^{-5}$ ni tashkil etdi. 35–40 dB oralig‘ida modellashtirish davomida bit xatoliklari qayd etilmadi. Shuningdek, turli PSK modulyatsiya tartiblarining qiyosiy tahlili modulyatsiya darajasi oshishi bilan signalni ishonchli qabul qilish uchun kanal sifatiga qo‘yiladigan talablar kuchayishini ko‘rsatdi.

Rays va Releу so‘nish kanallari asosida amalga oshirilgan modellashtirish natijalari ko‘p yo‘lli tarqalish, faza o‘zgarishi va chastota siljishi kabi omillarning qabul qilinayotgan signal sifatiga ta’sirini baholash imkonini berdi. Signal spektri va yulduz turkumi diagrammalarini BER hamda Eb/N0 ko‘rsatkichlari bilan birgalikda tahlil qilish qabul qilish jarayonidagi buzilishlarni kompleks baholash uchun muhim ekanligi aniqlandi.

Tadqiqot natijalari DVB-T2 tizimlarida signal sifatini nazorat qilishda faqat bitta parametrga asoslanish yetarli emasligini, balki BER, Eb/N0, signal spektri va yulduz turkumi ko‘rsatkichlarini kanal sharoitlarini hisobga olgan holda birgalikda baholash maqsadga muvofiqligini ko‘rsatadi. Taklif etilgan kompleks yondashuv raqamli televizion signallarni qabul qilish sifatini nazorat qilish, xalaqitlarning ta’sirini aniqlash hamda turli radioaloqa kanallari sharoitida xalaqitbardosh qabul qilish usullarini takomillashtirish uchun ilmiy-uslubiy asos bo‘lib xizmat qilishi mumkin.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Yarmukhamedov A.A., Jabborov A.B. Investigation and simulation of optimal noise-resistant reception in DVB-T2 standard digital television system using Matlab/Simulink program environment // JMEA Journal of Modern Educational Achievements Vol. 2, Issue 1, Jun 2023, pp.84-99. https://scopusacademia.org/index.php/jmea/article/view/61

2. Горбенко А.П., Клименко П.П., Корниенко В.Т. Основы модуляции/демодуляции цифровым сигналом в проектах LabVIEW: учебнометодическое пособие. - Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2015. - 67 p.

3. Jabborov A.B. Analysis and investigation of characteristics of quadrative phase modulation affecting interference-resistant reception/Galaxy international interdisciplinary research journal (GIIRJ)ISSN (E): 2347-6915Vol. 10, Issue 12, Dec.(2022). https://internationaljournals.co.in/index.php/giirj/article/view/3395

4. Ивлев Д.Н. Цифровые каналы передачи данных: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет,2013.–3с.

5. .Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 768 с.: ил. 6. Выбор оптимального метода модуляции сигнала в современных цифровых системах радиосвязи. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2008.

6. Восьмипозиционная фазовая манипуляция (8-PSK). Электронный ресурс – путь доступа :http://digteh.ru/UGFSvSPS/modul/8PSK/.

7. Мамчев Г.В. Теория и практика наземного цифрового телевизионного вещания: Учебное пособие / СибГУТИ – Новосибирск, 2010. 340 p.