

СИНХРОНИЗАЦИЯ СИГНАЛИНИНГ МЎТАДИЛЛИГИГА ТАЪСИР ЭТУВЧИ ОМИЛЛАР

Ибатова Д.Х.

Ушбу мақолада замонавий телекоммуникация тармоқларида синхронизация сигналлари номўтадиллигига таъсир этувчи омиллар, қурилмаларнинг интерфейслари учун джиттер ва вандер параметрлари ва уларни синхронизация тизимига таъсири, частота номўтадиллигига таъсир этувчи асосий омиллар, сирпанишларни бирламчи тармоқнинг канал параметрларига ва алоқа хизматининг сифат параметрларига таъсири таҳлил этилди.

Таянч иборалар: тармоқ синхронизацияси, цикли синхронизация, синхронизация сигнали, номўтадиллик, джиттер, вандер, фазали титрашлар, сирпаниш, эластик буфер, тактли частота, деградация.

В данной статье проанализированы факторы влияющие на нестабильность сигналов синхронизации в современных сетях телекоммуникации, основные факторы влияющие на нестабильность частоты, параметры джиттера и вандера для интерфейсов устройств и их влияние на систем синхронизации, а также влияние проскальзывания на канальные параметры первичных сетей и на параметры качества услуг связи.

Ключевые слова: сетевая синхронизация, цикловая синхронизации, сигнал синхронизации, нестабильность, джиттер, вандер, фазовое дрожание, проскальзывание, эластичный буфер, тактовая частота, деградация.

To synchronize the network, you need to send all the network devices information about the beat frequency. In the process of transmitting synchronization signals over a network, they have different effects. As a result, the signal quality deteriorates, which leads to disruption of the synchronization parameters in the network. This article analyzes the factors affecting the instability of synchronization signals in modern telecommunications networks, the main factors effecting frequency instability, jitter and wander parameters for device interfaces and their effect on synchronization systems, the effect of slippage on channel parameters of networks and on the parameters of the quality of communication services. To reduce slippage, a diagram of elastic buffers with one or more cycle sizes is given. The instability of the synchronization signals lies in the fact that different instabilities of the frequencies of this signal are understood. The resultant instability of the beat frequency is the value of the jitter or jitter of the timing signal. In international standards standards for digital network interfaces and devices are defined. The jitter parameters have a significant effect on the phase

synchronization parameters. Jitter occurs in different devices and networks. Vander is one of the main parameters of the synchronization system. Vander easily passes through a phase synchronization network that is aggregated in the network and affects the synchronization system. The drift of the phase (wander) resulting from a change in temperature can be caused by an uncontrolled change in the ambient temperature and can be reduced by increasing the depth of the cable. Due to the very low frequency of diurnal and annual drifts of the phase, they can't be filtered out. Another cause of phase drift in fiber optic systems is the fluctuation in the wavelength of the laser transmitter. The main physical and algorithmic factors affecting frequency instability are given, their occurrence and influence on the synchronization system are studied.

Key words: network synchronization, frame synchronization, synchronization signal, instability, jitter, wander, phase jitter, slippage, elastic buffer, beat frequency, degradation.

I. КИРИШ

Тармоқда синхронизацияга эришиш учун тармоқнинг барча қурilmаларига тактли частота ҳақидаги ахборотни узатиш зарур. Бу мақсад учун синхронизация сигналлари (тактли сигнал) қўлланилади. Бундай сигналлар линия сигналлари ёки алоҳида махсус сигналлар қўринишида узатилади. Тармоқ бўйлаб синхронизация сигналларини узатиш жараёнида улар турли таъсирларга учрайди. Натижада сигналнинг сифати ёмонлашади, бу эса тармоқда синхронизация параметрларини бузилишига олиб келади. Синхронизацияни тиклаш – бу қабул қилинган рақамли сигнал таркибидаги синхронизация сигналлари ажратиб олиш жараёнидир.

Замонавий телекоммуникация тармоқларида синхронизация тизимининг асосий параметрларини хизматлар сифатига таъсири масаласини кўриб чиқишдан аввал, синхронизация сигналларини номўтадиллигини юзага келиш табиатини кўриб чиқиш зарур. Синхронизация сигналларини номўтадиллиги деб, бу сигналнинг турли номўтадил частоталари тушунилади.

II. АСОСИЙ ҚИСМ

Замонавий телекоммуникация тармоқларида синхронизация сигналларини номўтадиллиги ёки сақловчи сигналлар, ташқи электр ҳалақитлар ва қабул қилишда сигналда узатиш линиясининг физик параметрларини ўзгариши туфайли бўладиган физик сабаблар ва алгоритмик сабаблар (масалан, стаффинг джиттери ва кўрсаткичларнинг силжиши) туфайли юзага келади. Тактли частотани натижавий номўтадиллиги – сақловчи сигналнинг фазага титраши ёки джиттер дейилади. Сигналнинг фазага титраши частотасига боғлиқ ҳолда, юқори частотали фазага титрашлар – джиттер – 10 Гц дан юқори частотали ва паст частотали фазага

титрашлар (фазалар дрейфи) – вандер – 10 Гц дан паст частоталига фаркланади. Одатда джиттер ягона интервал бирлигида, вандер эса вақт бирлигида ўлчанади [2].

Халқаро тавсияларда джиттер ва вандерга белгиланган меъёрларда, рақамли тармоқ интерфейслари ва қурилмалари учун рухсатлар аниқланган. Қурилмаларнинг интерфейслари учун джиттер ва вандернинг ўрта ортогонал параметрлари аниқланган:

- рухсат этилган джиттер, яъни маълумотларни хатосиз қабул қилишни таъминлаш учун рақамли қурилмаларнинг кириш интерфейслари бардош берадиган джиттернинг минимал қиймати;

- джиттерни узатиш вазифаси, яъни джиттер частотаси диапазонида кириш джиттери ва чиқиш джиттерлари орасидаги нисбат (бу тест, берилган частоталарда джиттер билан синалган модуляцияланган синусоидал сигнални қурилманинг киришига бериш йўли билан амалга оширилади);

- чиқиш джиттери, яъни чиқиш интерфейсларда чегаравий қийматни ифодалайдиган максимал рухсат этилган джиттер [1].

Джиттерни рухсат этилган қиймати ва джиттерни узатиш вазифаси кенг частота диапазонида меъёрлаштирилади, яъни бир неча микрогерцдан 100 кГц гача. Рақамли узатиш тизимларда джиттер ва вандернинг юзага келишини асосий манбалари регенераторлар, мультимплексорлар ва узатиш линияси ҳисобланади [1].

Джиттер параметрлари фазали синхронизация параметрларига кучли таъсир этади. Бошқа томондан, синхронизация тизими учун вандер асосий параметрлардан бири ҳисобланади. Джиттер турли қурилмалар ва занжирларда юзага келади. Вандер, фазали синхронизация занжири орқали ўзгаришсиз осон ўтади ва тармоқда йиғилиб синхронизация тизимига таъсир этади [2].

Синхрон рақамли иерархия (СРИ) тармоқларида джиттер ва вандерни юзага келишини янги манбалари мавжуд. Улардан бири узатилаётган СРИни гуруҳли сигналларини фазасига ва мос ҳолда уларда жойлаштирилган барча компонент оқимларнинг фазасига таъсир этади. Бошқалари, СРИни гуруҳли сигналларини фазасига таъсир кўрсатмасдан фақат компонент оқимларга фазали титрашлар киритади. Масалан, биринчи турга тааллуқли барча сигналга таъсир этувчи, атроф муҳит хароратининг ўзгариши билан вандер ва регенератор киритадиган фазали титрашлар. Бошқа томондан, СРИ мультимплексорлари компонент сигналларда джиттер ва вандерни юзага келишига олиб келадиган амалларни бажаради ва СРИ узатадиган гуруҳли сигналларга таъсир этмайди.

Харорат ўзгариши натижасида юзага келувчи фазалар дрейфи атроф муҳитнинг бошқариб бўлмайдиган харорат ўзгариши билан юзага келади ва уни камайтириш мумкин эмас. Уни камайтириш учун фақат кабелни чуқурроқ ётказиш керак. Бундан ташқари суткалик ва йиллик фазалар дрейфи жуда паст частотадалиги сабабли, уларни филтрлашни иложи йўқ.

Толали оптик кабелларда уларни юзага келиш сабаби хароратга боғлиқ бўлган тола ўзагининг синдириш кўрсаткичидир. Маълум бир узунликдаги оптик тола бўйлаб оптик сигнални тарқалишидаги кечикиш қуйидаги муносабат орқали аниқланади [1]:

$$\tau = \frac{ln_c}{c}, \quad (1)$$

бу ерда, n_c – тола ўзагининг гурухли синдириш коэффиценти, c – ёруғлик тезлиги, l – узунлик. n_c ва l ни кичик ўзгариши ҳам вандерни юзага келтиради.

Толали оптик тизимларда фазалар дрейфининг яна бир сабаби – бу лазер узатгичнинг тўлқин узунлиги флукутациясидир [1].

Частота номўтадиллигига асосий физик сабаблар қуйидагилардир: электромагнит интерференция, қабул қилишда синхронизация занжирига таъсир этувчи халақитлар ва шовқинлар, тракт узунлигининг ўзгариши, тарқалиш тезлигининг ўзгариши, ҳаракатдаги охириги қурилмалардан юзага келадиган доплер силжишлар, сақланувчи ахборотларни номунтазам келиши.

Частоталарнинг номўтадиллигига асосий алгоритмик сабаб, битли ёки байтли стафингни қўллаш билан тезликларни тўғрилаш режими ҳисобланади.

Шовқин ва халақитлар. Узатувчи ва қабул қилувчи частота берувчи генераторларнинг синхронизацияси учун одатда фазали автосозлаш занжири қўлланилади. Турли тузилишли ва табиатли шовқинлар ва халақитлар қабул қилинадиган сигналга шунингдек сақловчи сигналга таъсир этади, натижада частотани фазали автоматик созлаш (ЧФАС) илмоқларида сақловчи сигнални нотўғри қабул қилиш эҳтимоллиги ортади. Хато қабул қилинган сақловчи тебранишлар, тизимни қўлга олиш режимидан чиқишига олиб келиши мумкин. Шу тарзда халақитлар ва шовқинлар биринчи навбатда фазали синхронизацияга таъсир этади ва одатда вандерни юзага келмаслигига олиб келади.

Тракт узунлигининг ўзгариши – харорат ўзгариши, узатиш муҳитини механик сиқилиши ёки атмосферада радиотрактни букилиши натижасида юзага келади. Тарктни узайтирган холда қабул қилгич киришидаги самарали узатиш тезлиги камаяди, яъни узатиш муҳитида кўпгина битлар йиғила бошлайди. Шунга ўхшаш, трактни қисқаришида қабул қилгич киришидаги узатиш тезлиги ортади, яъни узатиш линиясида йиғилган битлар сони камаяди. Шундан сўнг тракт узунлиги мўтадиллашганда, рақамли сигналнинг номинал узатиш тезлиги қайта тикланади. Ернинг суъний йўлдоши орқали алоқада тракт узунлигини ўзгариши етарлича сезиларлидир. Замонавий спутникли орбитада тракт узунлигининг ўзгариши тахминан 300 км ни ташкил этади. Бу тахминан 1 мс ўтиш вақтини ўзгаришига мос келади. Таркт узунлигининг ўзгариши частота бўйича синхронизация тизимида таъсир этади. Узатиш тезлигини ўзгариши, частота бўйича синхронизация

тизимининг номўтадиллигини асосий параметри - вандерга эквивалент.

Сигналнинг тарқалиш тезлигининг ўзгариши – одатда узатиш мухити характеристикаларини ўзгаришига боғлиқ ва кўпроқ радиочастотали тизимлар учун характерлидир. Бу параметрнинг таъсир этиш механизми тахминан тракт узунлигини ўзгариши сингаридир. Сигналнинг тарқалиш тезлигининг ўзгариши вандерга олиб келади.

Доплер силжишлар. Қабул қилишда тактли частотанинг потенциал номўтадиллигини энг муҳим манбаи доплер силжишлар ҳисобланади. Улар самолётлар, спутниклар ва бошқа ҳаракатланувчи объектлар ҳаракати натижасида юзага келади. Масалан, 500 км/с тезликдаги самолёт ҳаракатида доплер силжиши $5 \cdot 10^{-7}$ га тенг бўлган тактли частотани номўтадиллигига эквивалентдир. Доплер силжишлар тракт узунлигини ўзгариши натижаси ҳисобланади.

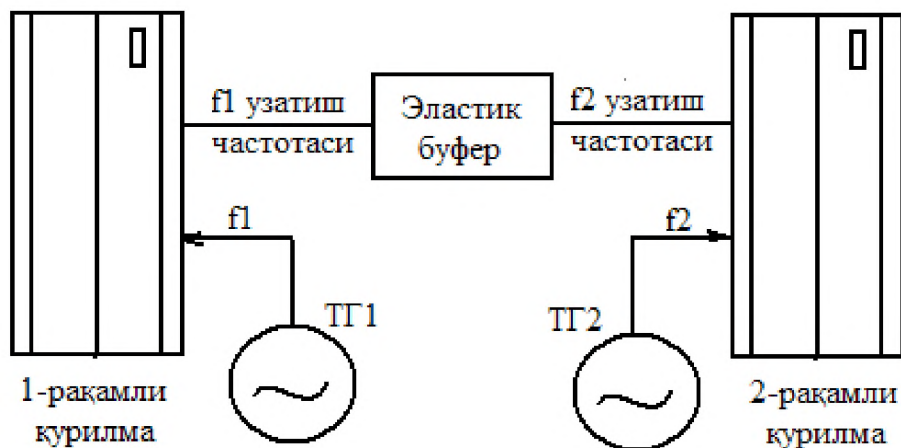
Сақланувчи ахборотларни номунтазам келиши. Рақамли узатиш тизимининг кодларига асосий талаб шундан иборатки, у охириги линия қабул қилгичида тактли частота тебранишларини ушлаб туриш ва ўрнатиш учун етарлича сақланган ахборотни олишни таъминлаши керак. Агар сақланадиган ахборот сатҳи рақамли сигналга боғлиқ бўлса, тактли частотани қайта тикланган тебранишларидаги фазали титрашлар, импульсларнинг нисбатан паст зичлиги билан вақт давомийлиги мобайнида ортади. Фазали титрашлар амплитудаси фақатгина импульслар зичлигига боғлиқ бўлмай, рақамли сигнал тузилишига ҳам боғлиқ [3].

Синхронизациянинг бузилиши рақамли тармоқда алоқа хизматини етарлича ёмонлашишига олиб келади. Хизматлар турига боғлиқ ҳолда бу таъсир турлича: баъзи хизмат турлари тармоқда синхронизацияни бузилишига чидамли, бошқалари йўқ. Барча ҳолларда синхронизациянинг бузилиши тармоқ ишлашини тўхташига ва хизматлар сифатини деградациясига олиб келади [3].

Рақамли алоқа тизимлари каналларининг параметрларига синхронизациянинг асосий таъсири сирпаниш ҳисобланади. Сирпаниш деб, буферли хотира қурилмасида ёзиш ва ҳисоблашларнинг тезликлари орасидаги фарқ натижасида, плезиахрон ёки синхрон иккилик символлари кетма-кетлигида символлар гуруҳининг такрорланиши ёки бўлмаслигига айтилади. Сирпанишни юзага келиш механизми 1-расмда келтирилган [2].

1-рақамли қурилма f_1 частотали рақамли сигнални генерациялайди, бу f_1 частотали сигнал эластик буфернинг оператив хотирасига ёзилади. Ундан f_2 частотали сигнал қабул қилувчи 2-рақамли қурилмада саналади. Узатиш ва санаш частоталари тактли генераторлар (мос ҳолда ТГ1 ва ТГ2) ни частотаси билан аниқланади. Агар $f_1 > f_2$ бўлса, эластик буфер аста-секин тўла бошлайди, бу эса буфернинг сифими ўлчамидаги ахборотни йўқолишига олиб келади ва мусбат сирпаниш юзага келади. Агар $f_1 < f_2$ бўлса, 2-рақамли қурилма битларни такрорлаш билан ахборотни санашни бошлайди (қайта санаш) ва бу хатоликка олиб келадиган манфий сирпаниш юзага келади.

Эластик буфер бўлмаганда сирпаниш – узатиш ва қабул қилишда сигналларни фазали сурилишини йиғилишидан юзага келади. Бу ҳолда синхронизациянинг бузилишини ўртача сатҳига боғлиқ ҳолда битли сирпанишлар, яъни битларни санада хатоликлар юзага келади [2].

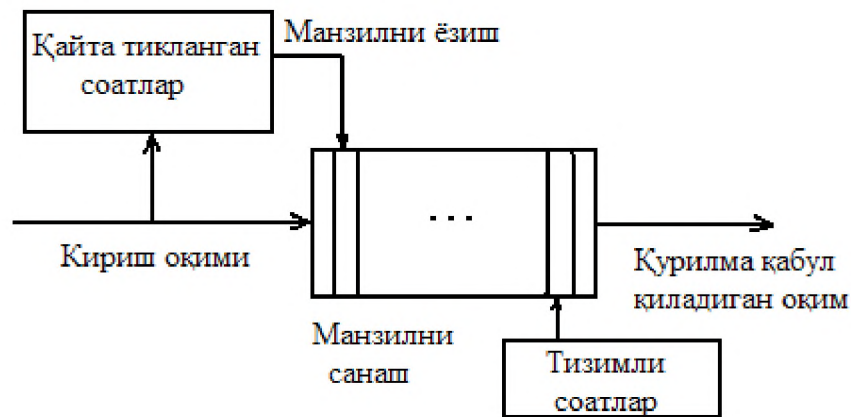


1-расм. Сирпанишни юзага келиш механизми

Замонавий рақамли сигналлар структуралашган (цикллар ёки кадрларга), битли сирпаниш цикли синхронизациянинг бузилишига олиб келади. Рақамли қурилмаларни ўзаро таъсирлашиш алгоритмлари нуктаи назаридан, бу ахборот циклини йўқолишига олиб келадиган цикли сирпанишлар ҳисобланади, бироқ цикли синхронизациянинг бузилишига олиб келмайди. Масалан, замонавий рақамли станцияларда битта битли сирпаниш 3 та циклгача йўқолишни олиб келади ва бунда цикли синхронизацияни қайта тиклаш зарур. Бундай сирпанишлар бошқарилмайдиган дейилади.

Сирпаниш билан боғлиқ номақул ходисаларни камайитириш мақсадида бир ёки бир неча цикллар ўлчамига эга бўлган эластик буферлар қўлланилади. Бу турдаги эластик буфернинг намунавий схемаси 2-расмда келтирилган [2].

Бунда сирпанишларни бошқариш механизми амалга оширилади. Эластик буфер тўлганида ундаги барча ахборотлар ўчади ва буфер бўшайди. Бу ахборотларни битта циклини йўқолишига олиб келади. Ҳозирги вақтда рақамли алоқа тармоқларида бошқариладиган сирпанишлар ягона рухсат этилган ҳисобланади.



2-расм. Эластик буфернинг тузилиш схемаси

Сирпанишлар сони қуйидаги муносабат орқали аниқланади [5]:

$$S_n = T_n \cdot M_n \cdot (\Delta f / f), \quad (2)$$

бу ерда: T_n – секунд давомидаги цикллар сони; M_n – сутка давомидаги секундлар сони, $\Delta f/f$ – суткадаги синхронизация аниқлиги.

8 кГц цикли частотада, цикл давомийлиги 125 мкс, суткада секундлар сони 86400 секундда, келтирилган муносабат қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$S_n = 6.9 \cdot 10^8 \cdot (\Delta f / f).$$

Масалан, 70 суткада биттадан кўп бўлмаган сирпаниш частотасини таъминлаш учун $\Delta f/f$ ни аниқлаш зарур. Суткадаги сирпанишлар сони $1/70 \approx 0.014$; $\Delta f / f = 0.014 / 6.9 \cdot 10^8 = 2 \cdot 10^{-11}$.

1-жадвалда сирпанишларни бирламчи тармоқнинг канал параметрларига ва алоқа хизматининг сифат параметрларига таъсири келтирилган [2]. Қуйида битта сирпанишни турли хизматлар учун таъсири келтирилган:

- телефон хизматларида трубкада чиқиллашни юзага келтиради. Ягона учрайдиган сирпанишлар телефон алоқасининг сифат параметрларига унчалик таъсир этмайди;

- ягона сирпанишлар факсимил ахборот узатилганида ахборотли каторларнинг сифатини йўқолишига олиб келади. Бир неча сирпаниш бўлган ҳолатда узатилган варақни қайта узатиш зарур;

- сўзлашув каналида маълумотлар узатишда сирпанишни таъсири, протокол тури ва узатиш тезлигига боғлиқ ҳолда 10 мс дан 1.5 с гача давомийликда хатолик кетма-кетлигини юзага келтиради;

- видеотелефонияда видеоканалнинг йўқолишига ва уланишни қайта тиклаш заруратига олиб келади;

- рақамли видеоахборот узатганда (масалан, видеоконференцияли алоқа), кадр йўқолиши ёки уни 6 с гача даврда қотиши кўринишида видеотасвир сифатини деградациясини юзага келтиради. Видеосигнални деградация давомийлиги кодлаш тури ва компрессиялаш технологиясига боғлиқ;

- кодланган маълумотларда (масалан, вокодерли телефония, шифрли узатиш) кодлаш калити йўқолади. Бунда қабул қилинган маълумотларни қайта очиб бўлмайди ва барча маълумотлар йўқолади. Ахборотни химоялаш тизимларида калитни қайта узатишга рухсат берилмайди. Бунда маълумотларни химоялаш сатхи бузилади. Бунинг учун бундай махсус тармоқлар учун меъёр “суткада 1 та сирпаниш” номаъкул ҳисобланади [2].

1-жадвал.

Сирпанишларни бирламчи тармоқнинг канал параметрларига ва алоқа хизматининг сифат параметрларига таъсири

Бирламчи тармоқ	Каналлар параметрларига таъсири
PDH асосидаги тармоқ	Сирпаниш, циклли ахборотнинг йўқолиши, UAS, SES параметрларини ортиши, пакетли хатоликлар
SDH асосидаги тармоқ	Кўрсаткичларни силжиши, фойдали юкламада алгоритмик джиттерни юзага келиши
Хизматлар (иккиламчи тармоқ)	Сифат параметрларига таъсири
Телефон алоқа	Чиқиллаш кўринишидаги импульсли халақитларни юзага келиши
Факсимил алоқа	Қаторларни бузилиши
ТЧ каналда маълумотлар узатиш (модемли, ADSL, HDSL)	Маълумотларни йўқолиши, BER қийматини ортиши
Видео	Экранда кадрни қотиб қолиши
Маълумотларни кодлаш	Уланишни йўқолиши

III. ХУЛОСА

Синхронизация сигналининг мўтадиллигига таъсир этувчи омилларни таҳлил қилиш натижалари асосида қуйидагилар хулоса қилинади:

- тармоқ бўйлаб синхронизация сигналларини узатиш жараёнида уларга турли таъсирлар натижасида сигналнинг кўрсаткичлари ёмонлашади, бу эса тармоқда синхронизация параметрларини бузилишига олиб келади;

- телекоммуникация тармоқларида синхронизация сигналларини номўтадиллиги ёки сақловчи сигналлар, қабул қилишда сигналда узатиш

линиясининг физик параметрларини ўзгариши туфайли бўладиган физик сабаблар ва алгоритмик сабаблар туфайли юзага келади;

- джиттерни рухсат этилган қиймати бир неча микрогерцдан 100 кГц гача бўлган частота диапазонида меъёрлаштирилади;

- узатиш линиясида харорат ўзгариши натижасида юзага келувчи фазалар дрейфини камайтириш мумкин эмас, уни камайтириш учун кабелни чуқурроқ ётқазиш керак;

- суткали ва йиллик фазалар дрейфи жуда паст частотадалиги сабабли, уларни филтрлашни иложи йўқ;

- сирпаниш билан боғлиқ ходисаларни камайтириш мақсадида бир ёки бир неча цикллар ўлчамига эга бўлган эластик буферлар қўлланилади;

- синхронизациянинг бузилиши тармоқ ишлашини тўхташига ва хизматлар сифатини деградациясига олиб келади.

АДАБИЁТЛАР

[1] Стефано Брени. Синхронизация цифровых сетей связи / Издательство “Мир” Москва. 2003.- 417 с.

[2] И.Г. Бакланов. Технологии измерений первичной сети. Часть 2 Системы синхронизации, В-ISDN, АТМ. Эко-Трендз Москва, 2000, -150 с.

[3] П.Н.Давыдкин, М.Н.Колтунов, А.В.Рыжков. Тактовая сетевая синхронизация / Под ред. М.Н. Колтунова. – М.: Эко-Трендз, 2004.- 205с.

[4] С.М.Сухман, А.В.Бернов, Б.В.Шевкопляс. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений.–М.: Эко-Трендз, 2003. - 272 с.

[5] В.Г. Фокин. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. – М.: Эко-Трендз, 2008.-288с.

[6] Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. - 2-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. - М.: ООО "Волоконно-оптическая техника", 2005. - 576 с.

[7] А.В. Засецкий, А.В. Иванов, С.Д. Постников, И.В. Соколов. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть II, под. Редакцийев А.Б. Иванова – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001. -335 с.

[8] Беллами Дж. Цифровая телефония: Пер. С англ. / Под ред. А.Н.Берлина, Ю.Н. Чернқшова. – М.: Эко-Трендз, 2004. – 640 с.

[9] А.В. Шмалько. Цифровые сети связи: Основы планирования и построения. - М.: Эко-Трендз, 2001. – 282 с.