

Ա.Գ. ԱՅՎԱԶՅԱՆ, Ս.Խ. ԽՈՒԴԱՎԵՐԴՅԱՆ

ԲԶԶԱՅԻՆ ԿԱՊԻ ՑԱՆՑԵՐԻ ԲԱԶԱՅԻՆ ԿԱՑԱՆՆԵՐԻ ԷՆԵՐԳԱԾԱԽՄԻ
ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ

Առաջարկվել է բջջային կապի ցանցերի բազային կայանների էներգածախսի գնահատման մաթեմատիկական մոդել, որը հաշվի է առնում կայանների համալրող տեխնիկական միջոցների աշխատանքային և դրվածքային հզորությունները, ինչպես նաև հնարավոր էներգետիկական կորուստները: Գնահատվել և վերլուծվել են տարբեր հզորությամբ կայանների էներգածախսը և դրա բաշխվածությունը՝ ըստ տեխնիկական միջոցների: Նշվել են բազային կայանների էներգաարդյունավետության բարձրացման հնարավոր եղանակները և էներգախնայողության ուղիները:

Առանցքային բառեր. բջջային կապ, բազային կայան, էներգածախս, էներգաարդյունավետություն:

Ներածություն: Ժամանակակից անլար կապի տեխնոլոգիաների զարգացումն ուղղված է կապի հուսալիության, թողունակության և արագագործության բարձրացմանը: Այդ նպատակով ներկայումս լայնորեն մշակվում և կիրառվում են բջջային ցանցերի բազային կայանների (Basic Station - BS) լավարկման նոր տեխնոլոգիական և ալգորիթմական լուծումներ, ավելի զարգացած և ընդլայնված հնարավորություններով համակարգեր:

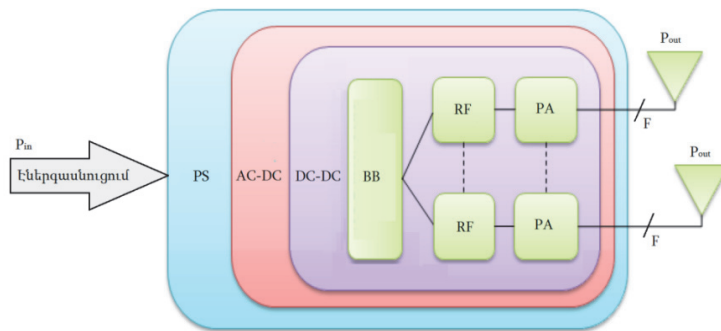
Դրանց թվին են պատկանում բջջային կապի, այսպես կոչված, «հետերոգեն ցանցերը» (Heterogeneous Network - HetNet) [1], որոնք ներառում են ինչպես սովորական մակրո BS-ներ (macroBS), այնպես էլ ավելի փոքր հզորությամբ և սպասարկման ծածկույթով միկրո BS-ներ (microBS): Զուգակցված կիրառվում են նաև առավել փոքր BS-ներ՝ պիկո և ֆեմտո (picoBS, femtoBS): Այսպիսի բազմաշերտ կառուցվածքում մակրո շերտը ծածկույթ է ապահովում մեծ արագությամբ շարժվող և այն տարածքի բաժանորդներին, որտեղ միկրո, պիկո և ֆեմտո շերտերի ծածկույթը բացակայում է, իսկ վերջիններս ապահովում են մեծ արագությամբ և մեծ թողունակությամբ կապ այն հատվածներում, որտեղ կա բաժանորդային սարքավորումների մեծ խտություն [2]:

Գրականության մեջ մեծ տեղ է հատկացված HetNet-ի BS-ների այն խնդիրների քննարկմանը, որոնք միտված են մատուցվող ծառայությունների որակի (Quality of Service - QoS) բարձրացմանը՝ մեծ ծավալով տվյալների հաղորդման, առավելագույն սպեկտրալ արդյունավետության և փոքր հապաղման ժամանակների ապահովմանը [1]:

Անհամեմատ քիչ ուշադրություն է դարձվում բջջային կապի ցանցերի BS-ների էներգաարդյունավետությանը, որին, կայանների շարունակաբար խտացման պայմաններում, ներկայումս առաջադրվում են բավականին խիստ պահանջներ: Ավելին, մի շարք նորարարական տեխնոլոգիական և ալգորիթմական լուծումներ մեծացնում են BS-ների էներգածախսը և հանգեցնում էներգաարդյունավետության փոքրացմանը: Այսպես, ժամանակակից բջջային կապի ցանցերում ներդրված օրթոգոնալ հաճախային բաժանմամբ մուլտիպլեքսավորման (Orthogonal Frequency Division Multiplexing - OFDM) բազմակրող հաղորդման տեխնոլոգիան մի կողմից՝ նվազեցնում է ընդունիչում կատարվող գործողությունների հաշվողական բարդությունը և փոքրացնում հապաղումները, մյուս կողմից՝ մեծացնում է հաղորդվող ազդանշանի առավելագույն և միջին հզորությունների հարաբերության գործակիցը (Peak to Average Power Ratio - PAPR) [3]: Որքան մեծ է PAPR-ը, այնքան փոքր է BS-ների ուժեղարարների էներգաարդյունավետությունը [4]:

Բջջային կապի ցանցերի BS-ների էներգածախսի գնահատումը և վերլուծությունը թույլ կտան հստակեցնել դրանց էներգաարդյունավետության բարձրացման եղանակները և էներգախնայողության ուղիները: Այդ առումով կարևոր է նշել, որ ներկայումս BS-ների վրա ծախսվում է անլար հեռահաղորդակցական համակարգերի էեկտրասնուցման ամբողջ ծավալի մոտավորապես 57%-ը [5]:

Բազային կայանների էներգածախսի մոդելը: Նկ. 1-ում բերված է բջջային կապի ցանցի BS-ի էներգասնուցման կառուցվածքային ընդհանուր սխեման:



Նկ. 1. Բազային կայանի էներգասնուցման կառուցվածքային ընդհանուր սխեման

Կայանի համալրող տեխնիկական միջոցներն են՝ փոփոխական հոսանքի սպառիչները (Power Supply - PS), լարման փոխակերպիչը (AC-DC converter), լարման կարգավորիչը (DC-DC controller), թվային ազդանշանի մշակման սարքավորումը (BaseBand Unit - BB), ռադիոհաճախային հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերը (Radio Frequency System - RF), ուժեղարարները (Power Amplifier - PA) և ֆիդերները (Feeder - F):

Կախված BS-ի հզորությունից, նշանակությունից և շահագործման առանձնահատկություններից՝ թվարկված տեխնիկական միջոցների մի մասը կարող է նաև չօգտագործվել կամ շահագործվել ոչ լիարժեք. հնարավոր է նաև լրացուցիչ այլ հանգույցների կիրառումը: Մասնավորապես, BS-ներում հեռահար ռադիոհանգույցների (Remote Radio Unit - RRU) առկայության դեպքում հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգը տեղակայվում է անմիջապես ալեհավաքի հարևանությամբ, և ֆիդերներ չեն կիրառվում [6], իսկ հատկապես խոշոր և քաղաքներից դուրս գտնվող BS-ները լրացուցիչ համալրված են հեռակառավարվող և ինքնավար սնուցումն ապահովող համակարգերով [7]:

Նշենք նաև, որ BS-ների համալրող տեխնիկական միջոցների մի մասը ստատիկ էներգասպառիչ է, իսկ մյուսները՝ դինամիկ են, և դրանց էներգածախսը կախված է թրաֆիկից և կայանի հաղորդման ելքային հզորությունից:

Ալեհավաքների տիրույթում էներգիայի առումով կորստաբեր են գոիչները, համակցող և երկկողմանի կոմունիկացիա ապահովող հանգույցները և ֆիդերները: Հիմնական էներգետիկական կորուստները ֆիդերների վրա են, որոնք հաղորդման ելքային հզորությունը կարող են փոքրացնել մի քանի η° -ով [8]: Ժամանակակից BS-ներում այդ կորուստները հասցվել են նվազագույնի՝ շնորհիվ օպտոմանրաթելային մալուխների և RRU-ների կիրառման: MicroBS-ների, առավել ևս picoBS և femtoBS-ների դեպքում ալեհավաքների տիրույթում էներգետիկական կորուստներն աննշան են:

Ուժեղարարի աշխատանքային հզորությունը փոփոխական է և կախված է կայանի հաղորդման ելքային հզորությունից հետևյալ արտահայտությամբ [8]¹

$$P_{PA} = \frac{P_{out}}{\eta_{PA}(1 - \delta_F)},$$

որտեղ P_{out} -ն կայանի հաղորդման ելքային հզորությունն է, η_{PA} -ն՝ արդյունավետության գործակիցը (օ.գ.գ.-ն), δ_F -ը՝ էներգետիկական կորուստները ֆիդերի վրա:

Բջջային կապի ցանցերում OFDM տեխնոլոգիայի ներկայումս լայնորեն կիրառումը հանգեցնում է ուժեղարարների էներգաարդյունավետության փոքրացմանը 6...12 η° -ով [4]: Այս դեպքում ուժեղարարից առաջացող ոչ գծային աղավաղումները հնարավոր է կոմպենսացնել հաստատուն կամ դանդաղ փոփոխվող պարուրիչով մոդուլացման մեթոդներով և օգտագործելով ազդանշանների մինչ-մուտքային աղավաղումներ մտցնող սարքեր [3]: Այդպիսի տեխնիկական լուծումները անհրաժեշտ են միայն macroBS և microBS-ների դեպքում, որոնցում ուժեղարարը հիմնական էներգասպառիչն է:

¹ Հղման աղբյուրում այս բանաձևում ֆիդերի վրա էներգետիկ կորուստները հաշվի չեն առնված:

Ռադիոհաճախային հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերի հզորությունը կախված է դրանց ճարտարապետությունից և պարամետրերից (անալոգա-թվային փոխարկման թույլտվություն, աշխատանքային հաճախաշերտի լայնություն, աղմկակայունություն): Բարդ, սակայն առավել էներգաարդյունավետ, ցածր միջանկյալ հաճախությամբ (Low-intermediate Frequency - IF) [9] կամ սուպեր-հետերոդինային (Super-heterodyne) ճարտարապետությամբ [10] հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգերը կիրառվում են macro և microBS-ներում, իսկ ավելի պարզ կառուցվածքով զրո-IF համակարգերը՝ picoBS և femtoBS-երում:

Թվային ազդանշանի մշակման սարքավորումների աշխատանքը կարելի է գնահատել վայրկյանում գեղա գործողությունների (Giga Operation Per Second – GOPS) թվաքանակով, որն էլ հնարավոր է ներկայացնել էներգածախսը բնութագրող $GOPS/Վտ$ միավորներով: Խոշոր BS-ների դեպքում այն կազմում է 40 $GOPS/Վտ$ [11]:

Լարման փոխակերպիչների և կարգավորիչների դրվածքային հզորությունները պայմանավորված են կայանի հաստատուն հոսանքի սպառիչների էներգածախսով, իսկ էներգաարդյունավետությունը բնութագրվում է համապատասխան օ.գ.գ.-ներով: Նշենք, որ արևային էլեկտրասնուցմամբ BS-ներում, որպես կանոն, լարման AC-DC փոխակերպիչներ չեն կիրառվում [7]:

Փոփոխական հոսանքի սպառիչներն են կայանների ընդհանուր հովացման, լուսավորման, տեսանկարահանման, չափիչ և լուսաազդանշանային սարքերը: Դրանք հիմնականում չեն կիրառվում փոքր BS-ների դեպքում:

BS-ների էներգածախսի բալանսում անհրաժեշտ է ներառել ևս երկու կորստաբեր բաղադրիչ: Առաջինը կորուստներն են հաստատուն հոսանքի հաղորդալարերի և հաղորդաձողերի (Mains Supply) վրա, իսկ երկրորդը պայմանավորված է սարքավորումների տեղային հովացման (Cooling) անհրաժեշտությամբ:

Ժամանակակից մեծ BS-ներում կիրառվում են բազմակի մուտքերով և բազմակի ելքերով (Multiple-Input Multiple-Output, MIMO) տեխնոլոգիան կամ դրա տարատեսակները՝ բազմաբաժանորդ MIMO (Multi User MIMO, MU-MIMO) և լայնամասշտաբ MIMO (Large-Scale MIMO – LS MIMO), որոնք օգտագործում են բազմաթիվ ալեհավաքներ՝ լրացուցիչ խանգարումակայունություն և կապուղու ավելի մեծ թողունակություն ապահովելու համար [12]: Բնականաբար, BS-ներում սեկտորների և ալեհավաքների թվաքանակն ազդում է կայանի ընդհանուր էներգածախսի վրա, քանի որ պահանջվում են լրացուցիչ թվով սարքավորումներ: Ընդ որում, կախված BS-ների կառուցվածքից, սեկտորի ալեհավաքների համար կարող է կիրառվել ինչպես մեկական, այնպես էլ մեկ ընդհանուր թվային ազդանշանի մշակման սարքավորում (նկ. 1): Փոքր BS-ներում հիմնականում կիրառվում է մեկ մուտքով և մեկ ելքով (Single Input Single Output, SISO) տեխնոլոգիան:

Այսպիսով, BS-ների էներգածախսի ընդհանուր մաթեմատիկական մոդելը կարելի է ներկայացնել հետևյալ արտահայտությամբ.

$$P_{BS} = N_S \frac{\frac{N_{Tx} P_{out}}{\eta_{PA}(1-\delta_F)} + N_{Tx} P_{RF} + f P_{BB}}{(1-\delta_{MS})(1-\delta_{Cool})} + \frac{P_{AC-DC}}{\eta_{AC-DC}} + \frac{P_{DC-DC}}{\eta_{DC-DC}} + P_{PS},$$

որտեղ N_S -ը և N_{Tx} -ն համապատասխանաբար սեկտորների և ալեհավաքների թվաքանակներն է, P_{RF} -ն, P_{BB} -ն, P_{AC-DC} -ն և P_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար հաղորդիչ-ընդունիչ համակարգի, թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման, լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի դրվածքային հզորությունները, P_{PS} -ն՝ փոփոխական հոսանքի սպառիչների գումարային հզորությունը, δ_{MS} -ն և δ_{Cool} -ը՝ համապատասխանաբար հաղորդման գծերի վրա և լրացուցիչ հովացմամբ պայմանավորված կորուստները, η_{AC-DC} -ն և η_{DC-DC} -ն՝ համապատասխանաբար լարման փոխակերպիչի և կարգավորիչի օ.գ.գ.-ները, f -ն բնութագրում է թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման թվաքանակը մեկ սեկտորում ($f \in [N_{Tx}, 1]$):

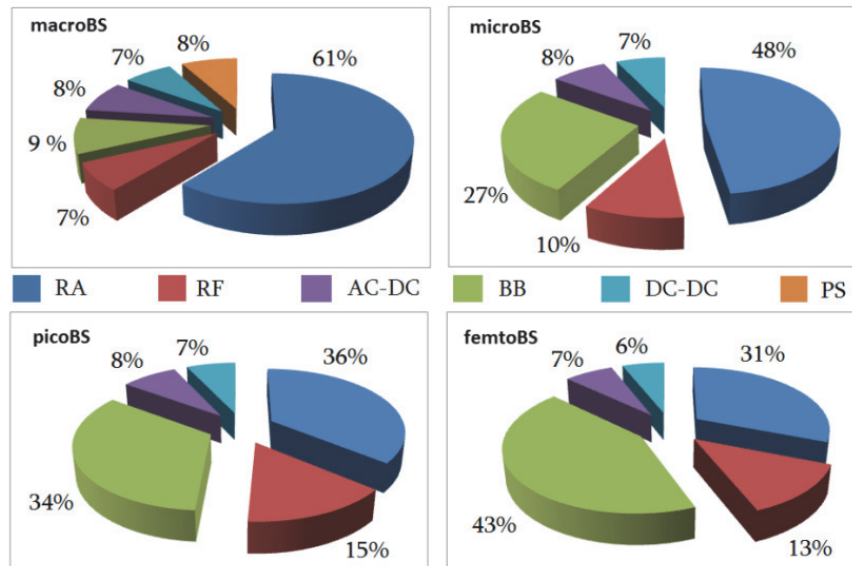
Մաթեմատիկական մոդելում ենթադրվում է, որ BS-ների հաղորդիչ և ընդունիչ ալեհավաքները և համապատասխան սարքավորումները թվաքանակով հավասար են: Մակայն որոշակի տեխնոլոգիաների կիրառման դեպքում, օրինակ՝ բազմակի մուտքերով և մեկ ելքով (Multiple Input Single Outputs, MISO) կամ մեկ մուտքով և բազմակի ելքերով (Single Input Multiple Outputs, SIMO), հաղորդիչ և ընդունիչ սարքավորումները թվաքանակով տարբերվում են: Այս դեպքում անհրաժեշտ է մաթեմատիկական մոդելում կատարել համապատասխան փոփոխություններ:

Բազային կայանների էներգածախսի վերլուծությունը: Աղյուսակում բերված են տարբեր հզորությամբ BS-ների տեխնիկական ցուցանիշները և դրանց ընդհանուր էներգածախսի գնահատման միջինացված արդյունքները հաղորդման ելքային առավելագույն հզորության դեպքում ($P_{out} = P_{out,max}$), իսկ նկ. 2-ում ցույց են տրված BS-ների էներգածախսի բաշխվածություններն ըստ համալրող տեխնիկական միջոցների:

Աղյուսակ

BS-ների տեխնիկական ցուցանիշները և էներգածախսը

BS	$P_{out,max}$		N_S	N_{Tx}	f	$P_{BS}, \text{ Վտ}$
	η_F	η_{in}				
macroBS	46	40	3	2	1	954
microBS	38	6,3	1	2	1	86
picoBS	21	0,13	1	2	1	8
femtoBS	17	0,05	1	2	1	5

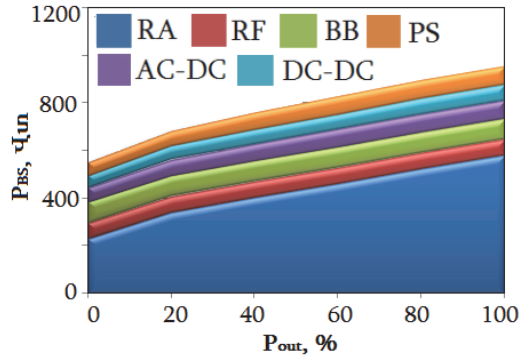


Նկ. 2. BS-ների էներգածախսի բաշխվածություններն ըստ համալրող տեխնիկական միջոցների

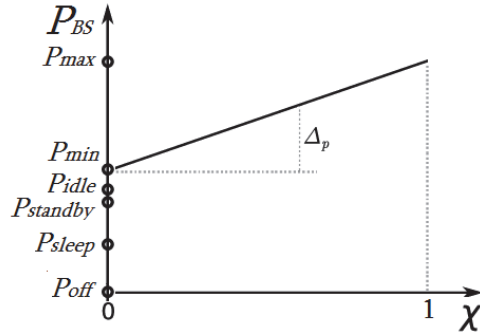
Ինչպես երևում է նկ. 2-ից, macroBS-ների և microBS-ների հիմնական էներգասպառիչն ուժեղաբարձ է: Հաշվարկները ցույց են տալիս, որ macroBS-ների ուժեղաբարձների էներգածախսի մոտավորապես 34%-ը պայմանավորված է կորուստներով ֆիդերների վրա: Դա նշանակում է, որ RRU-ի կիրառման դեպքում macroBS-ների էներգածախսը կնվազի առնվազն 197 Վտ-ով: Եթե հաշվի առնենք նաև, որ RRU-ն ակտիվ հովացում չի պահանջում, ապա դրա կիրառումը կլինի առավել էներգաարդյունավետ: Փոքր BS-ներում գերակշռում է թվային ազդանշանի մշակման սարքավորման էներգածախսը: Դա բացատրվում է այն հանգամանքով, որ ուժեղաբարձների էներգածախսը պայմանավորված է թրաֆիկով, որն անհամեմատ փոքր է picoBS և femtoBS-ների դեպքում:

Նկ. 3-ում բերված են microBS-ի համալրող տեխնիկական միջոցների էներգածախսի բաշխվածության կորերը՝ կախված կայանի ելքային հաղորդման հզորությունից (100%-ի դեպքում $P_{out} = P_{out,max}$): Երևում է, որ էներգածախսի կախվածությունը ելքային հզորությունից ունի ընդգծված գծային ֆունկցիայի տեսք:

Նկ. 4-ում բերված է BS-ի էներգածախսի կախվածությունը թրաֆիկի մասշտաբայնությունից (կշիռից)՝ α : Համեմատության համար նկարում նշված են նաև էներգածախսերը բոլոր հնարավոր աշխատանքային ռեժիմների դեպքերում՝ պարապ (Idle Mode), քնած (Sleep Mode), սպասման (Standby Mode), առավելագույն հաղորդման (Maximum Active Mode), նվազագույն հաղորդման (Minimum Active Mode) և անջատման (Off Mode):



Նկ. 3. Բազային կայանի էներգաձախսի բաշխվածության կորերը՝ կախված կայանի էլքային հաղորդման հզորությունից



Նկ. 4. BS-ի էներգաձախսի կախվածությունը թրաֆիկի մասշտաբայնությունից

Մաթեմատիկորեն BS-ի էներգաձախսը ակտիվ ռեժիմի համար, երբ $0 < \chi < 1$, կարող ենք մոտարկել հետևյալ գծային ֆունկցիայով.

$$P_{BS}(\chi) = P_1 + \Delta_p P_{out_max}(\chi - 1),$$

որտեղ $P_1 = P_{min} + \Delta_p P_{max_out}$, Δ_p -ն էներգաձախս-էլքային հաղորդման հզորություն կախվածության թեքության գործակիցն է, P_{min} -ը՝ էներգաձախսը նվազագույն հաղորդման ռեժիմում:

BS-ի էներգաձախսերը մնացած հնարավոր ռեժիմների դեպքում կրնույթագրվեն հետևյալ կերպ.

$$P_{BS}(\chi \approx 0) \approx P_{min}, P_{BS}(\chi = 1) = P_{max}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{idle},$$

$$P_{BS}(\chi = 0) = P_{sleep}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{standby}, P_{BS}(\chi = 0) = P_{off} = 0,$$

որտեղ P_{min} -ն, P_{max} -ն, P_{idle} -ն, P_{sleep} -ն, $P_{standby}$ -ն և P_{off} -ն էներգաձախսերն են համապատասխանաբար նվազագույն և առավելագույն հաղորդման, պարապ, քնած, սպասման և անջատման ռեժիմներում:

Տրաֆիկի բացակայության դեպքում $P_{off} < P_{sleep} < P_{standby} \leq P_{idle}$ անհավասարությունը պայմանավորված է այն հանգամանքով, որ անջատման ռեժիմում BS-ը ամբողջովին անջատված է էլեկտրասնուցումից, քնած ռեժիմում անջատված են ուժեղարարը և տեխնիկական միջոցների մի մասը, սպասման ռեժիմում անջատված է ուժեղարարը, իսկ պարապ ռեժիմում այն աշխատում է առանց բեռնվածքի:

Եզրակացություն: Բջջային կապի ցանցերի BS-ների հիմնական էներգասպառիչն ուժեղարարն է, որը PAPR-ի փոքրացման համար պետք է օժտված լինի մեծ դինամիկ տիրույթով և հնարավորինս գործի անցումային բնութագրերի գծային տեղամասում՝ հագեցման կետին մոտ: RRU-ի կիրառումը նվազեցնում է էներգետիկական կորուստները ֆիդերների և հաղորդման գծերի վրա: Էներգախնայողության տեսակետից արդյունավետ կլինի BS-ների ծառայությունների մատուցման դինամիկ մեթոդների (օրինակ, քնած ռեժիմի) կիրառումը, ինչպես նաև HetNet-ում տարբեր հզորությամբ և սպասարկման ծածկույթով BS-ների օպտիմալ տեղաբաշխումը և զուգակցված գործունեությունը:

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՑԱՆԿ

1. **Kaliski R.D.** Heterogeneous Network Architecture and Device-to-Device Communications in 5G Cellular Networks.- In book: Wiley 5G Ref. -John Wiley & Sons, 2020.- P. 1-24.
2. **Ayvazyan A.G.** Performance Analyses of Circuit-Switched Fallback // Proc. of IX Int. Conf. on Computer Science and Information Technologies.- 2017.- P. 379-381.
3. **Անտոնյան Ս.Վ., Ծատուրյան Գ.Ա., Մովսիսյան Լ.Ռ.** Բջջային կապի 5-րդ սերնդի հզորության ուժեղարարների մուտքային ազդանշանի թվային աղավաղման եղանակի ուսումնասիրությունը // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2020.- Հ. LXXIII, № 2.- Էջ 144-151:
4. **Bondarev B.N., Kabak V.S.** Calculation of the Peak-to-Average Power Ratio of Signals of OFDM Multichannel Systems // Radioelectronics and Commun. Systems.- 2015.- V. 58(10).- P. 462-469.
5. **Alsharif M.H., Kim J., Jin Hong Kim.** Green and Sustainable Cellular Base Stations: An Overview and Future Research Directions // Energies.- 2017.- N 10.- P. 587-604.
6. **Al-Falahy N., Alani O.Y.K.** The Impact of Base Station Antennas Configuration on the Performance of Millimetre Wave 5G networks // Proc. of IX Int. Conf. on Ubiquitous and Future Networks.- 2017.- P. 636-641.
7. **Айвазян А.Г., Агабекян Д.В., Варданян А.А.** Солнечное электропитание базовых станций сотовой связи // Вестник НПУА: Информационные технологии, электроника, радиотехника.- 2020.- N2.- P. 107-113.
8. **Deruyck M., Tanghe E., Joseph W., Martens L.** Characterization and Optimization of the Power Consumption in Wireless Access Networks by Taking Daily Traffic Variations into Account // EURASIP J. on Wireless Communications and Networking.- 2012.- N 1.- P. 1-12.

9. **Zhang C., Lihong Zhang L.** Intermediate Frequency Digital Receiver Based on Multi-FPGA System // J. of Electrical and Computer Engineering.- 2016.- ID 6123832.
10. **Sun J., Chen Lu Ch., Wang M.** Performance Assessment and Prediction for Superheterodyne Receivers Based on Mahalanobis Distance and Time Sequence Analysis // Int. J. of Antennas and Propagation.- 2017.- ID 6458954.
11. **Desset C., Debaillie B., Giannini V., Fehske A.** Flexible Power Modeling of LTE Base Stations // Proc. of Conf. on Wireless Communications and Networking.- 2012.- P. 2858-2862.
12. **Մարդրյան Գ.Ռ., Հովսեփյան Ժ.Մ.** Կողային տարանջատմամբ վարժեցնող ազդանշանների օգտագործումով բազմակի մուտքերով և բազմակի ելքերով (MIMO) կապուղու գնահատման եղանակ // ՀԳԱԱ և ՀԱՊՀ Տեղեկագիր. Տեխն. գիտ. սերիա.- 2015.- Հ. LXVIII, № 2.- Էջ 205-211:

Հայաստանի ազգային պոլիտեխնիկական համալսարան: Նյութը ներկայացվել է խմբագրություն 03.02.2021:

А.Г. АЙВАЗЯН, С.Х. ХУДАВЕРДЯН

ОЦЕНКА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Предложена математическая модель оценки энергопотребления базовых станций сетей сотовой связи, учитывающая рабочую и установочную мощности комплектующих технических средств станций, а также возможные энергетические потери. Оценены и проанализированы энергопотребление и его распределение по отдельным техническим средствам для базовых станций различных мощностей. Указаны возможные пути повышения энергоэффективности базовых станций и способы энергосбережения.

Ключевые слова: сотовая связь, базовая станция, энергопотребление, энергоэффективность.

A.G. AYVAZYAN, S.KH. KHUDAVERDYAN

ASSESSING THE ENERGY CONSUMPTION OF BASE STATIONS OF CELLULAR NETWORKS

A mathematical model is proposed for assessing the energy consumption of base stations of cellular networks, taking into account the operating and installation capacities of the technical means components of the stations, as well as the possible energy losses. Energy consumption and its distribution by technical means for base stations of various powers are estimated and analyzed. Possible ways of increasing the energy efficiency and ways of energy saving of base stations are indicated

Keywords: cellular network, base station, energy consumption, energy efficiency.