AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

MOBİL RABİTƏ SİSTEMLƏRİNDƏ ELEKTROMAQNİT ŞÜALANMALARININ BİOLOJİ TƏSİRİNİN TƏDQİQİ VƏ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

İxtisas: 3325.01- “Telekommunikasiya texnologiyası”

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Əli Zahir oğlu Salahov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2025

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin "Radiotexnika və telekommunikasiya" kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru,
professor **Ağarəhim Tofiq oğlu Rəhimov**

Rəsmi opponentlər: texnika elmləri doktoru,
professor **Alışan Nəriman oğlu Həsənov**

fizika üzrə elmlər doktoru,
dosent **Mehriban Şirin qızı Həsənova**

riyaziyyat üzrə fəlsəfə doktoru,
dosent **Gülçin Gülhüseyn qızı Abdullayeva**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: texnika elmləri doktoru, professor

Bayram Qənimət oğlu İbrahimov

Dissertasiya şurasının elmi katibi: texnika elmləri üzrə fəlsəfə doktoru

Əlləz Hacıəhməd oğlu Əliyev

Elmi seminarın sədri: texnika elmləri doktoru, professor

Famil Hüseyn oğlu Məmmədov

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Müasir rabitə vasitələrinin inkişafı müxtəlif tezlik diapazonlu və funksional təyinatlı texniki vasitələr, komplekslərinin tətbiqi və onların energetik potensialının artırılması, yeni informasiya texnologiyalarının yaranması hesabına gedir. Rabitə sistemlərinin və texniki vasitələrin yeni nəsil şəbəkələrinin arxitektur konsepsiyası bazasında sürətli inkişafı, xidmət sferasında istifadəçilərin daima artan tələbatı və perspektiv informasiya-telekommunikasiya texnologiyalarının köməyi ilə ötürülən məlumatların həcminin yüksəlməsi yeni aspektdə potensial bioloji təhlükəli elektromaqnit sahəsinin mənbələrinin və müxtəlif radio tezliklərin təsir sferasının öyrənilməsini və tədqiqini tələb edir.

2025-ci ilin məlumatına əsasən Azərbaycan Respublikasında telekommunikasiya bazarının inkişafı nəticəsində mobil telefon abonentlərinin sayı 11 milyonu keçmişdir. Yaxın 4-5 ildə mobil rabitə şəbəkələrinin infrastrukturunun sürətli artımı nəticəsində abonentlərin sayının daha da artacağı gözlənilir. Ona görə də böyük şəhərlərdə simsiz rabitənin fasiləsiz işləməsi üçün qurulan baza stansiyalarının elektromaqnit şüalanmasının yekun gücü artırılır, tezliklər isə 300MHs-300QHs tezlik diapazonunda genişləndirilir.

Mobil telefonların ətraf mühitə və canlı orqanizmlərə zərərli təsiri məsələsi ilə əlaqədar bu vaxta qədər aparılan elmi tədqiqatların olmasına baxmayaraq hələ də bu sahədə görüləsi işlər çoxdur. Belə ki, ayrı-ayrı rabitə vasitələri və sistemlərinin elektromaqnit şüalanması (EMŞ) norma daxilində olsa da onların birlikdə yaratdığı EMŞ səviyyəsi normadan artıq ola bilər. Nəticədə əhalinin sıx məskunlaşdığı yerlərdə elektromaqnit sahə intensivliklərinin göstəriciləri yüksələrək ərazilərdə elektromaqnit çirklənməsi yaranır. Bu da rabitə vasitələri və sistemlərinin, ötürücü və paylayıcı qurğularının xaotik yerləşdirilməsi ilə birbaşa əlaqədardır. Buna görə də Azərbaycanda fəaliyyət göstərən rabitə vasitələrinin şüalandırdığı müxtəlif radio tezlikli elektromaqnit sahəsinin təsirinin öyrənilməsi, antenaların əhatə zonasının tənzimlənməsi, onların effektiv yerləşdirilməsi metodikasının hazırlanması aktual olmaqla yanaşı, həm də ətraf mühit və insanların sağlamlığı və təhlükəsizliyi nöqteyi-

nəzərdən mühüm əhəmiyyət kəsb edir.

Yuxarıda qeyd olunanlar nəzərə alınaraq, perspektiv informasiya texnologiyaları şəbəkələrinin və mobil telekommunikasiya qurğularında ITU-T (Beynəlxalq telekommunikasiya ittifaqının telekommunikasiya standartlaşdırma təşkilatı) təkliflərinə uyğun QoS keyfiyyət göstəriciləri nəzərə alınmaqla dəyişən radio tezlikli elektromaqnit sahəsinin aspektlərinin öyrənilməsi və təhlili böyük aktuallıq və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Tədqiqatın obyekti və predmeti. Dissertasiya işinin tədqiqat obyekti - ümumi xidmətli mobil rabitə sistemləri və yüksək intensivlikli elektromaqnit şüalandırıcıları, işin predmeti isə mobil rabitə vasitələrinin elektromaqnit şüa mənbələrinin effektivliyinin artırılması üçün təklif olunan üsullar və riyazi modellər hesab olunur.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Dissertasiya işinin əsas məqsədi telekommunikasiya texnologiyaları və vasitələrinin bazasında qurulmuş mobil rabitə sistemlərinin ötürücü qurğularının effektivliyinin artırılması və şüalanma gücündən səmərəli istifadə olunması ilə elektromaqnit sahəsinin ümumi səviyyəsinin azaldılması, eləcə də yaranan elektromaqnit şüalanmasının bioloji təsirinin modelləşdirilməsi üsullarının işlənib hazırlanmasından ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün dissertasiya işində aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll edilmişdir:

1. Mövcud mobil rabitə sistemlərinin və telekommunikasiya vasitələrinin yaratdıqları elektromaqnit şüalanmasının və dəyişən radiotezlikli elektromaqnit sahəsinin təhlili.

2. Elektromaqnit şüalanmalarının bioloji strukturlara təsir aspektlərinin öyrənilməsi məqsədi ilə modelləşdirmə metodlarından istifadə olunmaqla dəyişən strukturlu elektrofiziki xüsusiyyətli modelin hazırlanması və modelin müxtəlif qatlarında elektromaqnit enerjisinin udulmasının hesablanması üsulunun tərtib edilməsi.

3. Mobil rabitə vasitələrinin müxtəlif elektromaqnit şüalandırıcı antenalarının istiqamətlənmə diaqramlarının və xarakteristikalarının tədqiqi əsasında elektromaqnit sahəsinin riyazi modelinin qurulması və bu model əsasında mobil rabitə baza stansiyalarının əhatə dairəsinin tənzimlənməsi yolu ilə səmərəliliyinin artırılması

üsullarının hazırlanması.

4. Mobil rabitə vasitələrinin ötürücü qurğularının şüalanma gücündən səmərəli istifadə olunması və elektromaqnit sahəsinin ümumi səviyyəsinin azaldılması məqsədi ilə onların baza stansiyalarının effektiv yerləşdirmə üsulunun işlənib hazırlanması.

5. Bakı şəhərində fəaliyyət göstərən mobil rabitə sistemlərinin fəaliyyətinin qiymətləndirilməsi istiqamətində aparılan təcrübi nəticələr əsasında mobil rabitə vasitələrinin sahə intensivlikləri və təsir sferasının monitorinqinin aparılması və normativ göstəricilərinin tədqiqi.

Tədqiqat metodları. Qarşıya qoyulan məsələlərin həlli üçün elektromaqnit sahə nəzəriyyəsi, kompüter modelləşdirməsi metodu, ən kiçik kvadratlar metodu, köməkçi mənbələr metodu, Qrin tenzor funksiyası metodlarından istifadə edilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar toplusu aşağıdakılardır:

1. Mobil rabitə sistemlərində müxtəlif radiotezlikli elektromaqnit şüalanmalarının təsirinin öyrənilməsi məqsədi ilə çoxqatlı dəyişən elektrofiziki xüsusiyyətlərə malik modelin vasitəsilə mobil rabitə sistemlərinin yaratdığı elektromaqnit şüalanmasının bioloji təsirinin nəzəri və təcrübi tədqiqinin nəticələri.

2. Elektromaqnit enerjisinin udulması və bioloji strukturlara təsirinin sistemli tədqiqi məqsədi ilə yaradılmış çoxqatlı modelin müxtəlif qatlarında xüsusi udma əmsalının hesablanması üsulu.

3. Yüksək intensivlikli elektromaqnit sahəsinin sistemli tədqiqi nəticəsində yaradılmış mobil rabitə şəbəkələrində effektivliyin artırılması və baza stansiyalarının əhatə dairələrinin idarə edilməsinə xidmət edən həndəsi korreksiya alqoritmi.

4. Mobil rabitə şəbəkələrində müxtəlif radiotezlikli elektromaqnit şüalanmalarının intensivliklərinin azaldılması məqsədi ilə hazırlanmış baza stansiyalarının, verici sistemlərinin effektiv yerləşdirilməsi üsulu.

5. Ən böyük yüklənmə saatlarında Bakı şəhəri üçün rabitə şəbəkələrinin elektromaqnit şüalanmasının intensivliyinin tədqiqi və elektromaqnit şüalanmalarının təhlükəsizlik, sanitar-gigiyenik normativlərinin hesabatı.

Tədqiqatın elmi yeniliyi.

1. Mobil rabitə sistemlərinin müxtəlif radiotezlikli elektromaqnit şüalanmalarının çoxqatlı dəyişən elektrofiziki xüsusiyyətli bioloji strukturlarda udulması və təsir aspektlərinin modelləşdirilməsi.

2. Mobil rabitə şəbəkələrinin ötürücü qurğuların əhatə dairələrinin real ərazi göstəricilərinə və yüklənmə səviyyələrinə görə tənzimlənməsi məqsədilə həndəsi korreksiya alqoritminin tətbiqi.

3. Müxtəlif radiotezlikli elektromaqnit şüalanma səviyyələrinin minimallaşdırılması və şüalandırıcı qurğuların gücündən səmərəli istifadə olunmasını təmin edən mobil rabitə şəbəkələrinin baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi üsulunun tətbiqi.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. Dissertasiya işində mobil rabitə vasitələrinin yüksək intensivlikli elektromaqnit şüalanmalarının sistemli tədqiqi bu vasitələrin yaratdığı elektromaqnit sahəsinin bioloji təsiri aspektlərini izah etməklə yanaşı həm də rabitə sistemlərinin şüalanma gücündən səmərəli istifadə olunması ilə onların şüalanma intensivliklərinin azaldılması, effektivliyinin artırılması, və beləliklə də onların keyfiyyət, effektivlik və təhlükəsizlik göstəricilərini nəzərə çarpacaq dərəcədə yaxşılaşdırılmasına imkan yaradır. Dissertasiya işində alınmış yeni riyazi modellər və bu modellərin həlli üçün işlənib hazırlanmış alqoritmlər digər tezlik diapazonlarında işləyən müasir rabitə vasitələrinin layihələndirilməsi prosesində də uğurla tətbiq oluna bilər.

Aprobasiyası və tətbiqi. Dissertasiya işinin əsas müddəaları aşağıdakı konfranslarda ətraflı müzakirə edilmişdir: “Mikroelektron çeviricilər və onların əsasında cihazlar” mövzusunda 7-ci beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları (Bakı-Sumqayıt, 27-29 noyabr 2013); Sənaye ilinə həsr olunmuş elmi-texniki konfransın materialları (Bakı, 15-16 dekabr 2014); İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişafı perspektivləri mövzusunda Beynəlxalq ETK materialları (Bakı, 27-28 oktyabr 2014); Doktorantların və gənc tədqiqatçıların 19-cu respublika elmi konfransının materialları (2015); Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü il dönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi

innovasiyalar" mövzusunda respublika elmi-texniki konfransının materialları (Bakı, 3-5 may 2017); "Вестник Российского нового университета", "Фундаментальные проблемы биомедицинской радиоэлектроники: междисциплинарные подходы и современные вызовы" mövzulu Beynəlxalq konfransı (Moskva, 26-27 noyabr 2020); "НИЦ Вестник науки", "Актуальные вопросы современной науки и практики" VI – Beynəlxalq elmi-praktiki konfrans (Ufa 14 sentyabr 2021); Belarus dövlət rabitə akademiyası, "Современные средства связи" XXVI beynəlxalq elmi-texniki konfrans (Minsk, Belarus Respublikası 21-22 oktyabr 2021); «Infocommunication systems and artifical intelligence technology» II-ci Beynəlxalq elmi-texniki konfrans (Bakı 4-5 dekabr 2024).

Dissertasiya işinin nəticələrinin tətbiqindən sonra respublikada elektromaqnit təhlükəsizliyi sahəsində nəzarətin gücləndirilməsi, həddən artıq elektromaqnit çirklənməsinin qarşısını almaq üçün xidmət sferasında və qanunvericilikdə nəzərdə tutulmuş qaydada müvafiq tədbirlərin görülməsi gözlənilir.

Eyni zamanda dissertasiya işinin nəticələri Azərbaycan Texniki Universitetinin tədris prosesində əyani vəsait olaraq tətbiq edilmişdir.

İşin nəticələrinin dərc olunması. Dissertasiya işinin məzmununu əks etdirən tədqiqatlar və onların nəticələrinə dair 8-i xaricdə olmaqla müxtəlif elmi-texniki nəşrlərdə 16 elmi iş çap olunmuşdur, onlardan 7 elmi məqalə və 9 konfrans materialları olmuşdur. Onlardan Azərbaycan Respublikasında dövri elmi nəşrlərin tövsiyə olunan və beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə daxil olan dövri elmi nəşrlərdə 8 elmi iş nəşr olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı. Dissertasiya Azərbaycan Texniki Universitetində yerinə yetirilmişdir.

Müəllifin şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işinin əsas elmi və təcrübi nəticələri bilavasitə müəllif tərəfindən yerinə yetirilərək əldə edilmişdir. Mobil rabitə vasitələrinin şüalanma gücündən səmərəli istifadə olunması, baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi, antena xüsusiyyətləri, elektromaqnit şüalanmalarının udulması və qarşılıqlı təsirinin tədqiqi üçün təklif edilən üsul, riyazi modellər və bu modellərin tətbiqi üçün alqoritmlər, müəllif tərəfindən müstəqil və ya

onun məsul icraçı qismində iştirakı ilə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və əlavədən ibarətdir. Dissertasiya 191 səhifə çap (kompüter mətnindən) vərəqindən ibarət olub 220273 işarədən (şəkillər, cədvəllər, qrafiklər, əlavələr və ədəbiyyat siyahısı istisna edilməklə) ibarətdir. Əsas hissə 60 şəkil, 23 qrafik, 15 cədvəl, 173 adda istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və bir əlavəni özündə birləşdirir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatların məqsədi və əsas vəzifələri şərh edilmişdir. İşin elmi yeniliyi və alınmış nəticələrin təcrübi əhəmiyyəti təqdim olunmuşdur.

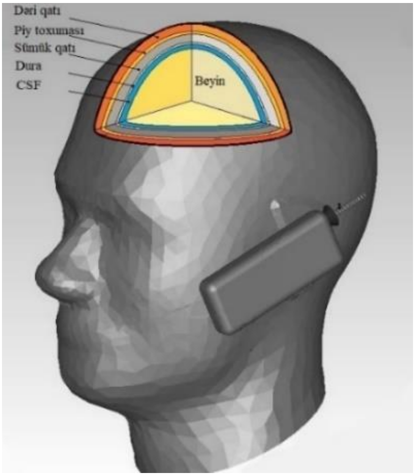
Birinci fəsildə mobil rabitə vasitələrinin ətraf mühit və bioloji obyektlərlə qarşılıqlı təsir aspektindən analizi aparılmış, elektromaqnit təhlükəsizliyi məsələləri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə ilk növbədə mobil rabitə vasitələrinin müasir vəziyyəti araşdırılmış, eləcə sahədə xarici mənbələrdə aparılan tədqiqatlar analiz edilmişdir [7]. Telekommunikasiya vasitələrinin elektromaqnit şüalanmasının ətraf mühitə təsirinin öyrənilməsində əsas parametr hesab edilən xüsusi udma əmsalının (SAR) rolu aydınlaşdırılmış [5, 6], onun beynəlxalq qəbul edilmiş normaları verilmişdir.

Fəsildə həmçinin mobil rabitə vasitələrinin elektromaqnit şüalanmasının bioloji təsirinin modelləşdirilməsi həyata keçirilmişdir. Elektromaqnit şüalanmalarının təsirinin tədqiqi təcrübi olaraq insanlar üzərində öyrənilməsi qeyri mümkün olduğundan burada əsasən modelləşdirmə üsullarından istifadə olunmuşdur.

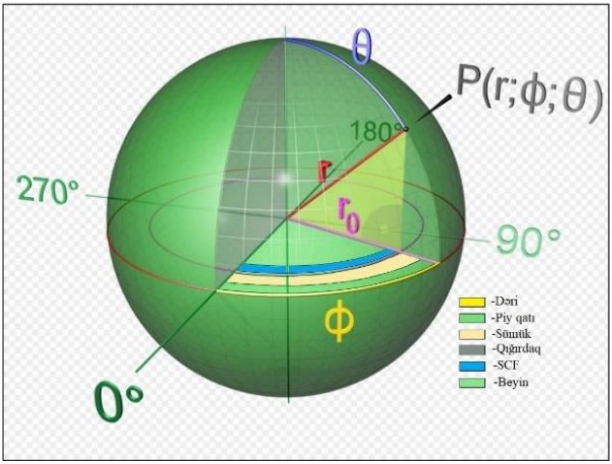
Elektromaqnit şüalanmalarının bioloji təsirinin öyrənilməsi məqsədi ilə toxumalara elektrofiziki xüsusiyyətlərinə görə analoji qatlardan ibarət çoxqatlı model tərtib edilmişdir. Modelin həndəsi ölçüləri insanın anatomik quruluşuna əsasən seçilmişdir (şək.1).

Qatlar elektrofiziki xüsusiyyətlərinə görə aid edildiyi toxumaların sıxlığı, dielektrik nüfuzluğuna, həndəsi ölçülərinə uyğun götürülmüş və müvafiq olaraq adlandırılmışdır: beyin, onurğa beyin mayesi, qığırdaq qatı, sümük, piy qatı, dəri [15].

Hal-hazırkı mobil rabitə standartlarında tezliklər diapazonunun kifayət qədər yüksək olduğuna görə modelin quruluşunda orqanların anatomik xüsusiyyətləri nəzərə alınmamışdır (şək. 2).



Şəkil 1. Çoxqatlı modelin anatomik xüsusiyyətlərə uyğun dəyişən elektrofiziki parametrli qatlarının seçilməsi.



Şəkil 2. Dəyişən elektrofiziki parametrli 6 qatlı model.

Hazırlanmış modelin qatları bioloji toxumaların elektrofiziki və dielektrik xüsusiyyətinə ekvivalent olan 6 təbəqədən ibarətdir. 6 qatlı model üçün xüsusi əhəmiyyətli parametrlər cədvəl 1-də

göstərilmişdir.

Telekommunikasiya vasitələrinin şüalanma gücünün udulmasının müqayisəli qiymətləndirilməsi SAR (Specific Absorption Rate) xüsusi udma əmsalı ilə aparılır. SAR elektromaqnit şüalanmasının udulmasını xarakterizə edən ən əhəmiyyətli parametr hesab olunur və udulmanın lokal xüsusiyyəti kimi səciyyələndirilir [16]. Məhz bu parametr istənilən nöqtədəki elektrik sahə gərginliyi dəyərini özündə daşıyır və buna görə də, canlı orqanizmlərin toxumalarına radiasiya və elektromaqnit şüalanmalarının uzun müddətli təsirini öyrənmək üçün istifadə olunur[1].

Cədvəl 1. Altı qatlı modelin elektrofiziki xassələri.

Qatın adı	Sərhəd radiusu *mm.*	Qalınlığı *mm.*	1800 MHs tezlikdə		
			Nisbi dielektrik nüfuzluğu, ε_r, *F/m*	Maddənin sıxlığı, *ρ*, g/sm^3	Xüsusi elektrik keçiriciliyi *σ*, *Sm/m*
Dəri	90	3	41.11	1.100	0.45
Piy qatı	87	3	79.1	0.950	0.59
Sümük	84	6	40.7	1.800	0.12
Qığırdaq	78	1	20.9	1.600	0.25
CSF	77	5	10	1.050	1.8
Beyin	72	144	40.7	1.030	1.5

Bu səbəbdən də tədqiqatda məhz bu parametrə istinad edilmişdir. SAR müxtəlif telekommunikasiya standartları ilə reqlamentləşdirilib və müəyyən standartlardan kənara çıxmamalıdır. Belə ki, qərbi Avropa ölkələrində Elektrotexniki Standartlar üzrə Avropa Komitəsi SAR-ın maksimal göstəricisini - 2 Vt/kq qəbul etmişdir.

$$SAR = \frac{\sigma|E|^2}{\rho}, \tag{1}$$

$|E|$-elektrik sahə gərginliyi modulu, *σ*- xüsusi elektrik keçiriciliyi, *ρ*- maddənin sıxlığıdır. *σ, ρ* parametrləri tezlikdən asılı olaraq modelin hər bir qatı üçün ayrılıqda götürülmüşdür. (1)-dən göründüyü kimi *E*- elektrik sahə gərginliyinin qiyməti məlumdursa SAR-ın qiymətini modelin istənilən nöqtəsi üçün hesablamaq olar.

Mobil rabitə sistemlərində müxtəlif radiotezlikli elektromaqnit

1. Ahmad N.A., Shaharun P.F. SAR measurement from mobile phone and its effect to human body // Elektrika- Journal of Electrical Engineering. – 2023. T. 22. № 1. – p. 63-69.

şüalanmalarının təsirinin öyrənilməsi məqsədi ilə modelləşdirmə metodundan istifadə olunaraq yaradılan modelin qatlarının hər biri üçün elektromaqnit sahəsinin riyazi ifadələri yazılmış, strukturuna görə dəyişən elektrofiziki xüsusiyyətli qatlarda elektromaqnit enerjisinin udulma miqdarı hesablanmışdır [4, 8, 10, 11, 14,].

Alınmış ədədi nəticələr əsasında SAR-ın modelin müxtəlif qatları üzrə paylanması göstərilmiş, qatlar üzrə SAR-ın tezlikdən, şüalanma mənbəyinin müxtəlif müstəvilər üzrə φ və θ bucaqlarından asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Cədvəl 2-də aparılan hesablamaların nəticələri göstərilmişdir.

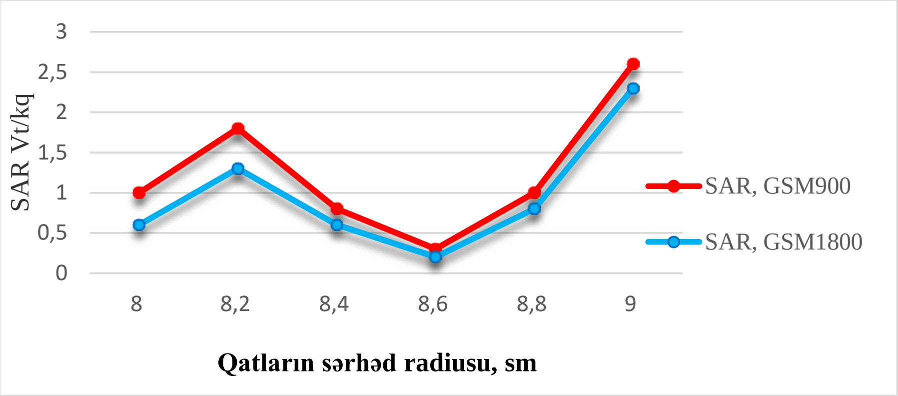
Cədvəl 2. θ və φ bucaqlarının 0°-180° daxilində olan diapazonunda SAR-ın sferik modelin qatlarındakı miqdarı.

SAR 1-ci qat							SAR 2-ci qat						
ϕ\θ	180	140	100	60	20	0	ϕ\θ	180	140	100	60	20	0
0	1.6	1.2	2.4	2.1	2.5	2.3	0	0	0,2	0,6	0,1	0,5	0,1
60	1.8	2.1	2.6	2.5	1.1	1.2	60	0,1	0,3	0,8	0,2	0,6	0,3
120	1.2	1.9	2.5	1.8	1.6	1.3	120	0,2	0,4	0,5	0,5	0,3	0,3
180	1.3	1.2	2.1	1.3	1.2	1.1	180	0,3	0,2	0,8	0,2	0,4	0,1
SAR 3-cü qat							SAR 4-cü qat						
ϕ\θ	180	140	100	60	20	0	ϕ\θ	180	140	100	60	20	0
0	0	0,2	0,6	0,1	1,2	0,1	0	0	0,2	0,6	0,1	1,3	0,1
60	0,1	0,3	0,5	0,2	0,9	0,2	60	0,1	0,3	0,5	0,2	1,1	0,2
120	0,2	0,4	0,5	0,5	0,7	0,3	120	0,2	0,4	0,3	0,5	0,9	0,3
180	0,3	0,2	0,8	0,2	1,1	0,1	180	0,3	0,2	0,8	0,2	1,4	0,1
SAR 5-ci qat							SAR 6-cı qat						
ϕ\θ	180	140	100	60	20	0	ϕ\θ	180	140	100	60	20	0
0	1.1	1.2	1.8	1.2	1.5	1.3	0	0	0,2	0,6	0,1	1,9	0,1
60	1.4	1.1	1.9	1.6	1.1	1.2	60	0,1	0,8	0,3	0,2	1,7	0,2
120	1.2	1.5	1.5	1.8	1.6	1.3	120	0,2	0,8	0,2	0,5	1,6	0,3
180	1.3	1.2	1.4	1.3	1.2	1.2	180	0,3	0,2	0,8	0,2	1,8	0,1

Cədvəldən göründüyü kimi modelin qatları üzrə SAR -xüsusi udma əmsalının maksimal qiyməti 2.6 Vt/kq, olmuşdur. Bu da, Elektrotexniki Standartlar üzrə Avropa Komitəsi tərəfindən qəbul edilən SAR-ın normativ göstəricisindən 0.6 Vt/kq çoxdur [12].

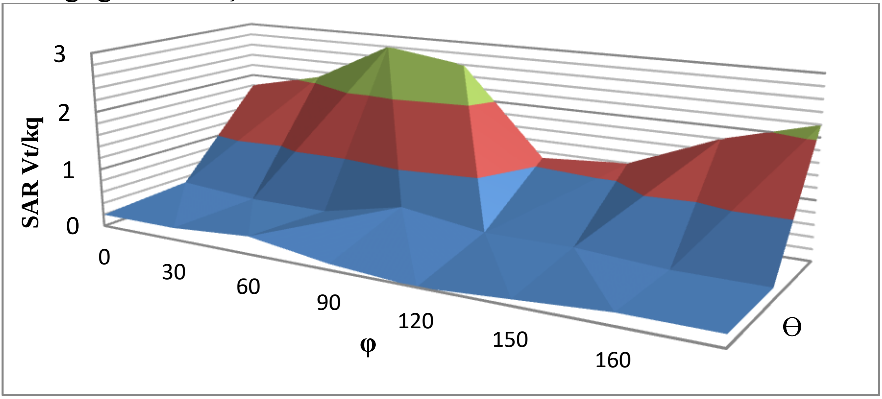
Qrafik 1-də alınmış ədədi nəticələr əsasında müxtəlif tezliklərdə

SAR-ın modelin qatları üzrə paylanması göstərilmişdir. Modelin qatlarında udulma miqdarının fərqliliyi onun birinci qatının şüalanma mənbəyinə daha yaxın olması, CSF qıtının isə tərkibində maye miqdarının daha çox olması ilə izah olunur.



Qrafik 1. SAR-ın modelin qatları üzrə paylanması.

Qrafik 2-də modelin birinci qatında SAR-ın φ və θ bucaqlarından asılılığı göstərilmişdir.



Qrafik 2. *θ* və *φ* bucaqlarının 0° dən 180° aralıqda olan diapazonda SAR-ın sferik modelin birinci qatında paylanması.

Elektromaqnit dalğalarının bioloji orqanizmlərə əsasən iki növ təsir faktoru mövcuddur. Bunlardan biri termal digəri isə qeyri termal faktordur[2]. Dissertasiya işində həmçinin udulma nəticəsində

toxumalarda yaranan termal təsirlər də tədqiq olunmuşdur.

---

2. Бондарева Л. А. Исследование теплового воздействия излучения мобильного телефона на организм человека по изменению температуры барабанной перепонки // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии, – 2018. № 5 (331). – с. 115-122.

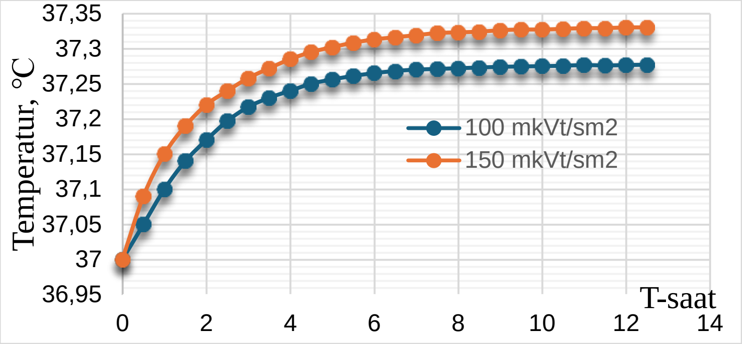
Elektromaqnit sahəsinin enerjisinin udulması nəticəsində yaranan temperatur dəyişilməsinin hesablanması üçün SAR xüsusi udma əmsalından istifadə olunmuşdur. Temperaturunun SAR-dan asılılığını qiymətləndirmək üçün bir çox amillər, məsələn toxumaların kütləsi, toxuma sıxlığı, onların istilik tutumu, elektromaqnit şüalanmasının intensivliyi və digər parametrlər nəzərə alınmalıdır. Bu məqsədlə enerji balansı prinsipindən istifadə edərək udulmuş enerjinin temperaturla əlaqə düsturunu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{SAR \cdot m}{m \cdot c} - \frac{hA(T - T_ə)}{m \cdot c}, \tag{2}$$

burada, *dT/dt* - bədən temperaturunun dəyişmə sürəti, SAR-xüsusi udma əmsalı, Vt/kq; m - təsir olunan obyektin kütləsi, kq; c-toxumanın xüsusi istilik tutumu, J/kq; h- istilik ötürmə əmsalı, Vt/m^2; A- obyektin səthinin sahəsi, m^2; $T_ə$-ətraf mühitin temperaturu, C°.

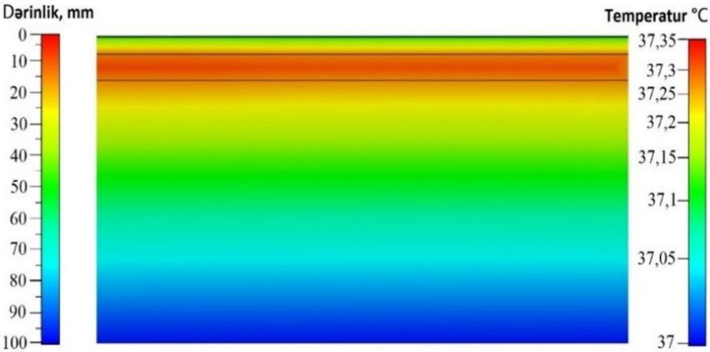
Hesablamalar əsasında 100 $mkVt/sm^2$ və 150 $mkVt/sm^2$ enerji selinin sıxlığı qiymətlərində toxumada yaranan istilik effektləri müəyyən edilmişdir.

Qrafik 3- də modelin daxilində temperatur artmasının zamandan asılılığı göstərilmişdir. Qrafikdən göründüyü kimi, elektromaqnit şüalanmaların 3 saat davamlı təsir nəticəsində 100 $mkVt/sm^2$ üçün temperatur yüksəlişi davam edərək 37,26 °C səviyyəsinə çatır. Bu da normadan 0.66°C çoxdur.



Qrafik 3. Elektromaqnit sahəsinin təsiri altında modelin daxilindəki temperaturun zamandan asılılığı.

Şəkil 3-də modelin dərinliyi üzrə temperatur göstəricilərinin vizual təsviri verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, temperatur dəyişiklikləri modelin 760mm dərinliyinə qədər davam etmişdir



Şəkil 3. Modelin daxilində temperatur dəyişiklikləri

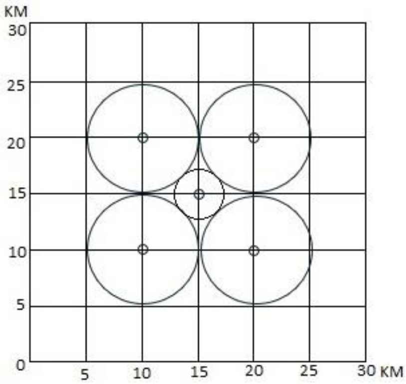
İkinci fəsildə mobil rabitə vasitələrinin radio tezlikli elektromaqnit sahəsinin təsirinin tədqiqi nəticəsində alınan nəticələr əsas götürülərək bu təsirin azaldılması istiqamətində tədqiqat işləri davam etdirilmişdir. Bu məqsədlə mobil rabitə vasitələrinin baza stansiyalarının (BS) əhatə dairəsinin həndəsi korreksiya üsulu hazırlanmış və bu üsul vasitəsilə BS-ın şüalanma gücündən səmərəli istifadə edilməsinə və bununla da effektivliyinin artırılmasına nail olunmuşdur. Əhatə dairəsinin həndəsi korreksiya üsulunun

imkanlarından istifadə edərək mobil rabitə vasitələrinin BS-ın yerləşmə effektivliyini artırmaq mümkündür. Bu məqsədlə dissertasiya işində mobil rabitə BS-ın effektiv yerləşdirilmə üsulu hazırlanmış və bu üsul vasitəsilə BS- ın sıx yerləşmiş ərazilərdə onların sayının azaldılmasına və bununla da ümumi elektromaqnit şüalanma intensivliyinin azalmasına nail olunmuşdur.

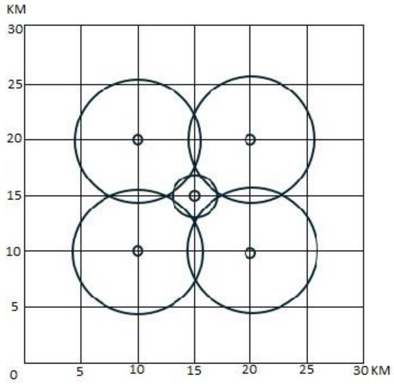
Mobil rabitə baza stansiyalarının həndəsi korreksiya üsulunun riyazi hesablamaları zamanı ən kiçik kvadratlar (ƏKK) metodundan istifadə olunaraq riyazi model işlənib hazırlanmışdır. ƏKK metodunun tətbiqi ilə BS ların əhatə dairəsinin yaxşılaşdırılmasına, həm üst-üstə düşmə zonaların minimallaşdırılması həm də boş zonaların əhatə olunmasına nail olunmuşdur. Əhatə dairəsindəki boş zonaların əhatə olunması istənilən zaman ya ayrı-ayrı stansiyaların şüalanma gücünün artırılması hesabına, ya da elastiklik matrisinin qurulması zamanı ehtiyat şüalanma gücü əmsalından istifadə etməklə nail olmaq olur.

Məlum olduğu kimi şanşəkilli quruluşa malik mobil rabitədə şəbəkələrinin idarə olunması klaster qrupu şəkilində icra olunur. Hər bir klaster qrupu kommunikasiya mərkəzi vasitəsilə idarə olunur. Ümumi olaraq həndəsi korreksiya üsulunun iş prinsipi klaster daxilində ayrı-ayrı BS-ın şüalanma gücünü dinamik şəkildə idarə olunması ilə maksimal əhatə olunmanın təmin edilməsinə əsaslanır [3].

Təcrübi hesablamalar kənar bucaqlarında və mərkəzdə bir birinə simmetrik yerləşdirilmiş beş ədəd baza stansiyası klaster qrupu üçün aparılmışdır. Stansiyalar arasındakı məsafələr - $d_{12} = d_{25} = d_{45} = d_{14} = 10$km, $d_{13} = d_{23} = d_{35} = d_{34} = 7{,}071$km, baza stansiyasının ehtiyat şüalanma güc əmsalı k=2, BS-ların yüklənmə intensivliyi səviyyələri hər bir stansiya üçün bərabər olaraq $y_{1-5} = 1$ Erl, qəbul edilmişdir (şək.4).



Şəkil 4. q=5 klasterli BS-nın əhatə zonası. Ehtiyat şüalanma güc əmsalı k=2. Yüklənmə intensivliyi $y_{1-5} = 1Erl$



Şəkil 5. q=5 klasterli BS-nın əhatə zonası. Ehtiyat şüalanma güc əmsalı k=1,8 Yüklənmə intensivliyi $y_{1-5} = 1Erl$

---

3. Isabona J. Accurate base station placement in 4G LTE networks using multiobjective genetic algorithm optimization / J. Isabona, A.L. Imoize, S. Ojo, [et al] // Wireless Communications and Mobile Computing. – 2023. T. 2023 – p. 7476736.

Burada, Erl- yüklənmə səviyyəsini ifadə edən kəmiyyətdir. Təklif olunan alqoritminin imkanlarından istifadə etməklə q=5 klasteri üzərində BS əhatə zonasının korreksiyası aparılmışdır. Göründüyü kimi, verilən məlumatlara əsasən stansiyaların əhatə dairəsini hesablayaraq dəqiq ölçüsünü tapırıq: $r_1 = r_2 = r_4 = r_5 = 5\ (km)$, $r_3 = 2.071\ (km)$. Bununla belə, əhatə dairəsi kənarlarında acıq qalmış zonalar müşahidə olunur. Bütün BS-nın ehtiyat şüalanma güc əmsalının qiymətini k=1.8-ə dəyişərək yeni nəticə əldə edirik. Bu zaman boşluqlar da əhatə olunmuş əhatə zonalarının yeni radius qiymətlərini alırıq: $r_1 = r_2 = r_4 = r_5 \approx 5{,}556\ (km)$, $r_3 \approx 2{,}301\ (km)$. Beləliklə BS ehtiyat şüalanma gücü əmsalının dəyişdirilməsi ilə boşluqların aradan qaldırılmasına nail olmaq olur (şək. 5). Baxılan nümunədə BS5-in əhatə radiusu ən çox 1,703 dəfə dəyişilmişdir.

Təklif olunan alqoritmin həlli zamanı istifadə edilən riyazi metodların köməyi ilə aparılan hesablamaların nəticələri BS-ın

yüklənmə intensivliklərinin klaster üzrə bölgüsünün effektiv olduğu və həndəsi konfiqurasiyanın adekvat şəkildə nəzərə alınaraq icra olunduğunu göstərir. Alınmış həll variantları təkcə effektivlik baxımından deyil, eləcə də relyefi və yerləşməsi çətin ərazilərdə praktiki şərait baxımından geniş imkanlar yaratmış olur.

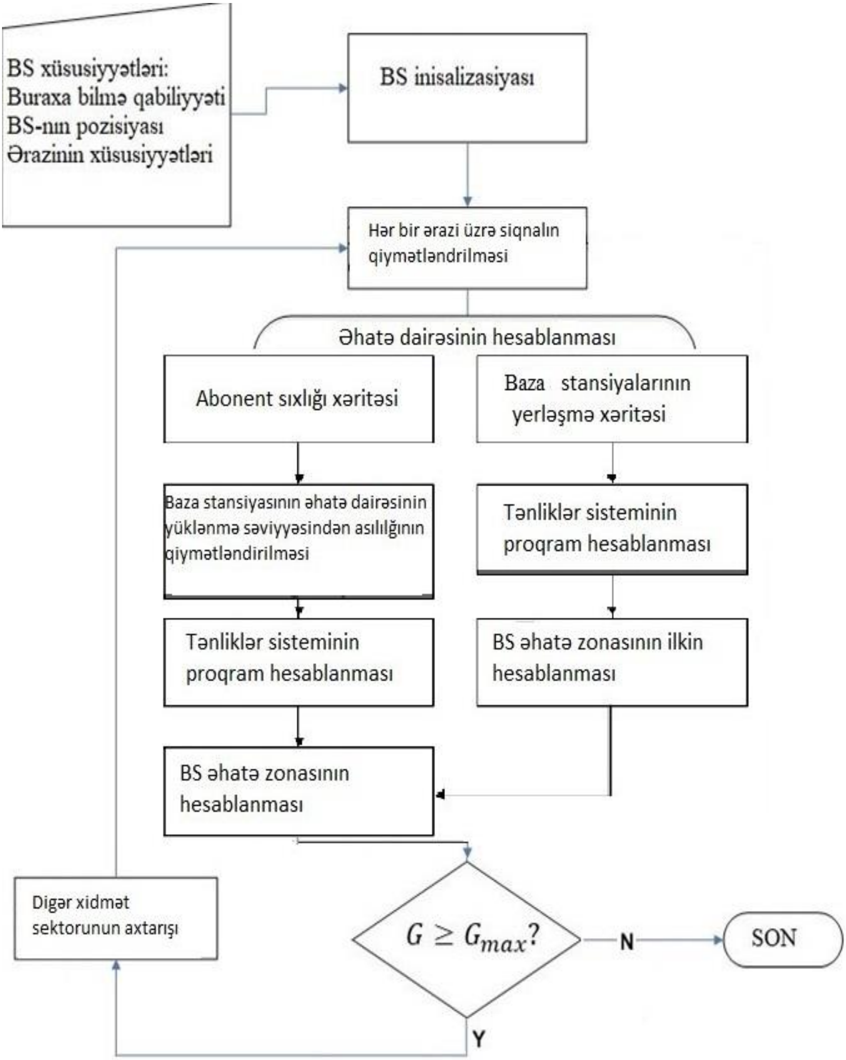
Beləliklə ƏKK metodu ayrı-ayrı BS yüklənmə intensivliyinin və ehtiyat şüalanma gücünün qiymətlərini dəyişməklə əhatə zonasının hesablanması üçün optimal həll imkanı yaradır. Təklif olunan alqoritmin blok sxemi şəkil 6-də göstərilmişdir.

Yuxarıda izah olunan BS-nın əhatə dairəsinin həndəsi korreksiya üsuluna əsasən mobil şəbəkələrində baza stansiyaların effektiv yerləşdirilmə üsulu işlənib hazırlanmışdır. Təcrübələr 10km^2 ərazi üzrə yerləşdirilmiş baza stansiyalarının həndəsi korreksiya üsulunun tətbiq edilməsi və əhatə dairəsinin tənzimlənməsi ilə stansiya saylarının azaldılması istiqamətində aparılmışdır [1,2,9].

Rabitə şəbəkəsi qurulduğu zaman ərazidə elektromaqnit uyğunluğunun təmin olunması zərurətini nəzərə alaraq namizəd baza stansiyalarının yerində maksimal bir baza stansiyası yerləşdirilməlidir. Bu şərt aşağıdakı kimi göstərilmişdir:

$$\forall m \ \sum_{n=1}^{N} Y_{km} \leq X_{nm}^{bb} \qquad (3)$$

burada, m-potensial baza stansiyalarının sayı, $m = \overline{1, M}$; n-baza stansiyanın antena tipi, $n = \overline{1, N}$; k- verilən koordinatlar üzrə abonent sayı, $k = \overline{1, K}$; X_{nm}^{bb} -buraxıla bilən baza stansiyalarının sayı; $Y = ||Y_{km}||$ -abonentlərin baza stansiyaları üzrə paylanması matrisidir.



Şəkil 6. Əhatə dairəsinin həndəsi korreksiya alqoritminin blok sxemi.

Qəbul edilən məhdudlaşdırmaya əsasən hər bir abonent yalnız bir baza stansiyasına qoşulmalıdır. Bu şərt aşağıdakı kimi yazılmışdır:

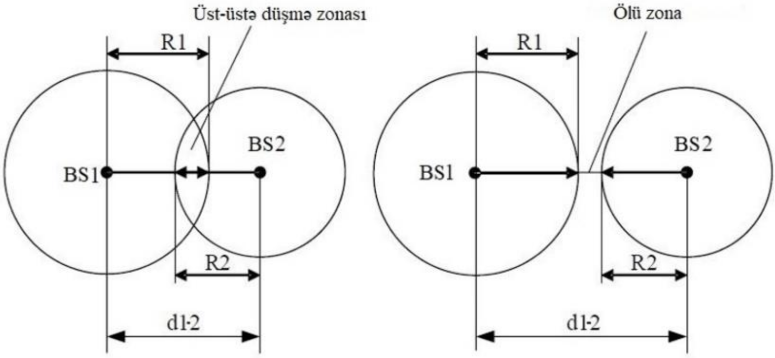
$$\forall k \ \sum_{m=1}^{M} Y_{km} = 1 \qquad (4)$$

Yuxarıdakı ifadələrə əsasən baza stansiyalarının effektiv

yerləşdirilməsi və saylarının minimallaşdırılması məsələsini aşağıdakı kimi ifadə edə bilərik:

$$\varphi = \sum_{knm} X_{nm}^{bb} Y_{kn} + \sum_{mn} c_n X_{nm}^{bb} + \sum_{km} \frac{1}{g_{km}} Y_{km} \rightarrow min \quad (5)$$

Hesablamalar zamanı BS effektiv yerləşdirilməsinin qiymətləndirilməsi zamanı orta kvadratik xəta göstəricisi olan Δ-meyarı tətbiq olunmuşdur (şək.7).



Şəkil 7. Baza stansiyaların qurulması zamanı əhatə dairəsində buraxılan səhvlər.

Fərz edək ki, iki qonşu BS əhatə dairələrinin üst-üstə düşən və əksinə boş qalan zonaları mövcuddur. Şəkil 4. də göstərilən iki baza stansiyasının əhatə dairələrinin radiusunun bu stansiyaların arasındakı məsafədən asılılıqları, əhatə zonasının üst-üstə düşmə və boş zonalara mütənasib olduğu aydınlaşdırılmışdır.

$$\Delta = \sqrt{\sum((r_i + r_j) - d_{ij})^2}, \qquad |\Delta| \rightarrow min \quad (6)$$

Δ- orta kvadratik xəta;

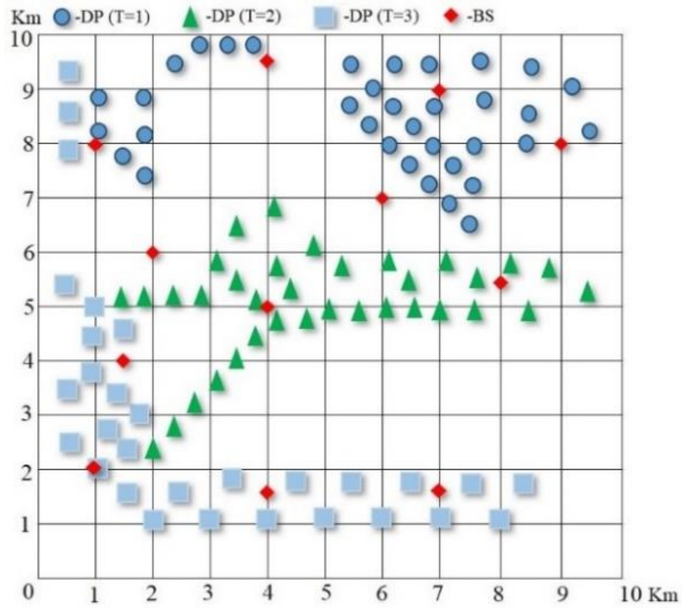
r_i və r_j – BS_i və BS_j baza stansiyalarının əhatə dairəsi radiusu;

d_{ij}- BS1 və BS2 stansiyalarının əhatə dairələri arasındakı boşluq.

Rabitə vasitələrinin BS maksimum effektiv yerləşdirilməsi zamanı onların əhatə dairələri üçün |Δ|=0 ən effektiv hal hesab olunsa da real təcrübədə q=5 baza stansiyaları klasterində minimal orta kvadratik xəta qiyməti Δ=0,6096 müəyyən edilmişdir [13].

Mobil rabitə vasitələrinin BS-ın effektiv yerləşdirilməsi riyazi

modelinə əsasən LİNGO modelləşdirmə proqram təminatı vasitəsi ilə yerləşmə variantları işlənmiş və əyani nəticələr əldə olunmuşdur. Bunun üçün $10km^2$ ölçülü nisbi ərazidə potensial namizəd baza stansiyalarının qurulması üçün yerlər təyin edilmişdir. Abonentlərin yerləşdiyi yerlər və sorğu növləri alınmış nəticələrin əhatəliyini təmin etmək məqsədi ilə ixtiyari olaraq seçilmiş və 3 mərhələdən ibarət T1, T2, T3 zaman perioduna ayrılmışdır (şək.8).



Şəkil 8. $10km^2$ ərazi üzrə BS yerləşdirilməsi

Beləliklə 12 potensial namizəd stansiyalarının arasında ən optimal variantlar hesablanaraq müəyyən edilməlidir. Minimallaşdırma şərtinə əsasən aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\sum_{j\in S} \sum_{i\in T}(c_{ij}\, z_{ij} + d_{ij}\, y_{ij}) \qquad (7)$$

burada,

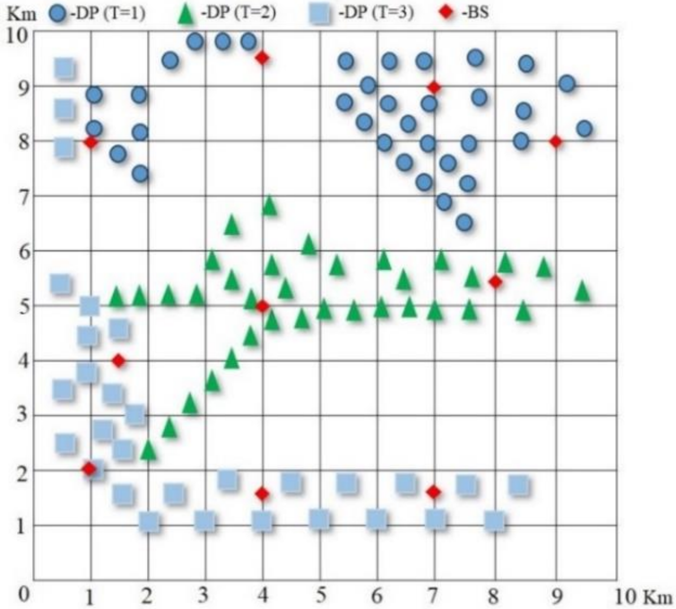
C_{ij}- i və j baza stansiyalarının əhatə dairələrinin üst üstə düşən sahələri.

d_{ij}- i və j stansiyanın əhatə etmədiyi boş zonanın sahəsi.

z_{ij}, y_{ij}- sorğunun qəbul edildiyi zamandan və abonent sayından

asılı olan dəyişənlərdir.

Beləliklə, mobil rabitə baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi riyazi modelinə əsasən təcrübə aparılan ərazi üzrə bütün abonent sorğularının əhatə olunması üçün 10 ədəd baza stansiyası müəyyən olunmuşdur (şək.9).



Şəkil 9. 10km^2 ərazi üzrə BS həndəsi korreksiya üsuluna əsasən yerləşdirilməsi

Təklif olunmuş üsul baza stansiyalarının daha effektiv yerləşdirilməsinin hesablanması baxımından simmetrik yerləşməyə nisbətən daha çox həll imkanları yaradır. Baza stansiyalarının alınan nəticələrə əsasən yerləşdirilməsi fiziki, texniki, iqtisadi baxımından ziddiyyət təşkil etmədiyi və onların klaster konfiqurasiyası quruluşu ilə uyğunluq təşkil etdiyi təsbit edilmişdir. Bu isə alınan nəticələrin adekvatlığını sübut edir.

Üçüncü fəsildə müxtəlif konstruksiyalı antenaların yaratdığı elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi aparılmışdır. Burada müxtəlif konstruksiyalı antenaların şüalanma, energetik və polyarizasiya xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla onların yaratdığı

elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi məsələsi həll edilmişdir. Uzaq zonalarda elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinə əsasən müxtəlif konstruksiyalı antenaların istiqamətlənmə diaqramları qurulmuş, gücləndirmə xarakteristikaları, şüalanma müqaviməti, faydalı iş əmsalı hesablanmış və polyarizasiya xüsusiyyətləri aydınlaşdırılmışdır.

Antena qurğularının vacib parametrlərindən biri polyarizasiya xüsusiyyətlərinə və energetik xassələridir. Fəsildə əvvəlki fəsildə gətirilmiş nəticələrin yoxlanması üçün yoxlama hesablamalar aparılmış və bunlar ədəbiyyatda göstərilmiş nəticələrlə müqayisə edilmiş[4], antenaların sərbəst fəzada qarşılıqlı müqavimətinin aktiv hissəsinin onlar arasındakı məsafədən asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. Elektrik vibratorunun E_θ və E_φ elektrik sahə komponentlərinin keçirici modelin yaxınlığında θ- bucağından asılılıqları tapılmışdır. Model ilə qarşılıqlı əlaqə şəraitində antenanın şüalanma xüsusiyyətlərinin alınmış ifadələrin uyğunluğunun və adekvatlığının yoxlanılması üçün, alınmış nəticələrin kompüter proqramı vasitəsi ilə vizuallaşdırılması və müqayisələndirilməsi keçirilmişdir. Bu məqsədlə modelləşdirmə proqramından istifadə edərək model yaxınlığında vibrator antenasının istiqamətlənmə diaqramları qurulmuşdur.

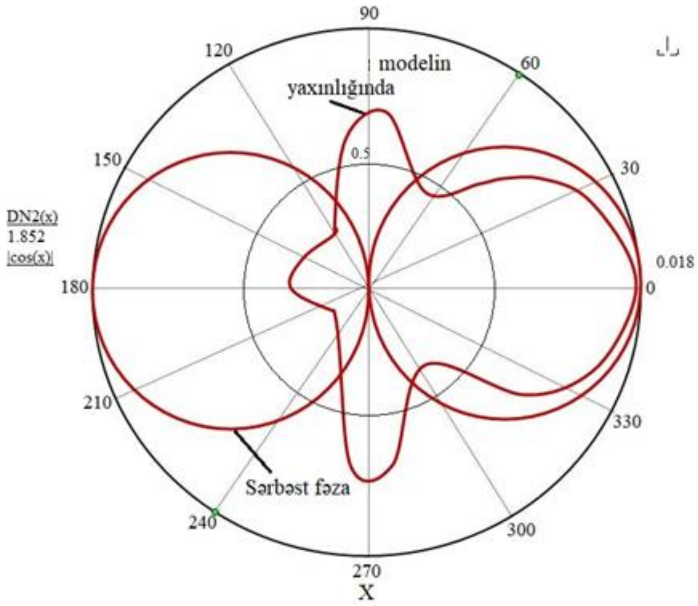
Çoxqatlı strukturu və ayrı-ayrı qatların yüksək kompleks dielektrik keçiricilik xassələrini nəzərə alaraq, modelin yüksək ekranlama xüsusiyyətinə malik olması şəkil 10-da göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, altı qatlı modelin antena yaxınlığında yerləşməsi onun istiqamətlənmə diaqramını nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişir.

Alınmış nəticəyə uyğun olaraq belə qənaətə gəlmək olar ki, dielektrik modelin yaxınlığında yerləşən elektrik vibratorunun

---

4. Krasuk V.N., Udrov M.A. Technique of calculation dimension conducting surface for forming antenna pattern an open ended waveguide // Fifth International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter, and Submillimeter Waves. –Ukraine, – Kharkov: National Academy of Sciences of Ukraine, – 2004. – p. 653-655.

istiqamətlənmə diaqramı, sərbəst fəzada yerləşən vibratorun istiqamətlənmə diaqramı ilə müqayisədə kifayət qədər təhrif olunmuşdur.



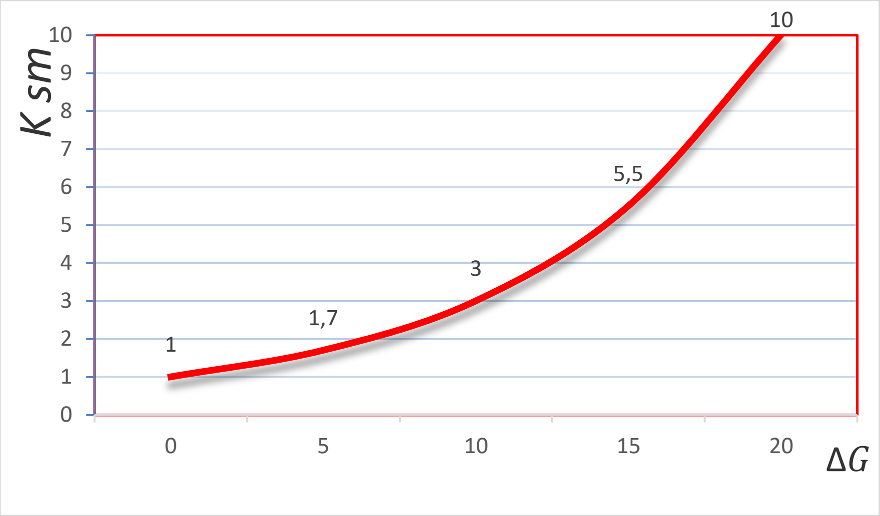
Şəkil 10. Elektrik sahə gərginliyinin E_θ -komponentinin θ-dən asılılıq diaqramı.

Dissertasiya işində qoyulmuş məsələlərdən biri də yüksək tezlikli elektromaqnit şüalanmasının intensivliyinin şüalanma mənbəyindən obyektə qədər məsafədən, eləcə də şüalandırıcı qurğunun antenasının obyektə nisbətən yerləşmə bucağından asılılığın müəyyən etməkdən ibarətdir.

Təcrübələr zamanı yaxın zonada simulyasiya aparılmışdır. Hər bir halda model iki antenanın arasında yerləşdirilmişdir. Antenalardan biri ötürücü, digəri isə qəbuledici rolunu oynamışdır [9]. Model və antena səthləri arasındakı məsafə 180 millimetrdir, bu da yaxın zonaya uyğundur. Beləliklə, antenadan modelə qədər olan məsafə hər tərəfdən 0 mm-dir (180mm. modelin qalınlığı). Simulyasiya zamanı modelin yerləşdirilməsi sxemi "şüalandırıcı – model – qəbuledici" şəkilində aparılmışdır.

Daha sonra antenalar arasındakı məsafə 200, 240, 250mm olmaqla təcrübələr davam etdirilmişdir. Antena ilə model arasında məsafə dəyişdikcə elektromaqnit sahəsinin intensivliyində dəyişmə

müşahidə olunmuşdur. Belə ki, model ilə birbaşa təmas etdikdə birinci qatda SAR-ın qiyməti 2.8Vt/kq, 1sm məsafədə 2Vt/kq, 20mm məsafədə 1.5Vt/kq, 50mm məsafədə isə 0.9Vt/kq. Alınmış nəticələrdən görünür ki, antenanın obyektdən 50mm məsafədə SAR-ın qiyməti 2.2Vt/kq qədər azalır. *K*-antenaların arasındakı məsafənin ΔG - gücləndirmə əmsalından asılılığı qrafik 4-də göstərilmişdir.



Qrafik 4. Antenalar arasında məsafə ilə Δ*G*-güclənmə əmsalı arasındakı asılılıq.

Aparılmış tədqiqatlarda altı qatlı model nəzərdən keçirilmiş, onun başqa sadələşdirilmiş strukturlardan daha nəzərə çarpacaq dərəcədə çox ekranlayıcı xüsusiyyətə malik olması müəyyən edilmişdir. Bu da, onun yüksək kompleks dielektrik keçiricilik xüsusiyyətinə malik olması ilə izah olunmuşdur.

Dördüncü fəsil telekommunikasiya vasitələrinin elektromaqnit təhlükəsizliyi təminatının normativləri və eksperimental ölçmələrə həsr edilmişdir. Əhali üçün sanitar-gigiyenik elektromaqnit şüalanmanın uyğun buraxıla bilən növləri və normaları göstərilmişdir.

Elektromaqnit şüalanmalarının təsirini qiymətləndirmək üçün şüalanma intensivliyini xarakterizə edən E- elektrik sahə

gərginliyindən (V/m) və H- maqnit sahə gərginliyindən (A/m) istifadə olunur. Elektromaqnit sahəsinin (EMS) elektrik və maqnit komponentlərinin mütləq buraxıla bilən səviyyələri (E_{MBS} H_{MBS}), təsiretmə müddətindən və tezlikdən asılı olaraq dəyişir.

300MHs-300QHs tezliklərdə isə EMŞ-nın intensivliyi enerji selinin sıxlığı ($ESS, Vt/m^2$ $, mkVt/sm^2$) ilə müəyyən olunur.

$$\overrightarrow{ESS} = \vec{E} * \vec{H} \tag{8}$$

burada, *E*- elektromaqnit dalğasının elektrik tərkib hissəsi, *V/m*; *H*-elektromaqnit dalğasının maqnit tərkib hissəsi, *A/m.*

Yüksək tezliklərdə ESS-nın maksimal buraxıla bilən qiyməti aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$ESS_{MBS} = \frac{EE_{ESS}}{T} \tag{9}$$

burada, *T*-təsir müddətidir.

Yuxarıda yazılanlara əsasən mobil radiorabitə sistemləri tərəfindən yaradılan elektromaqnit şüalanmanın müvəqqəti buraxıla bilən səviyyəsi radiotelefon istifadəçiləri üçün ESS = 100 mkVt/sm^2, baza stansiya ərazisində əhalinin üçün ESS-səviyyəsi isə ESS= 10 mkVt/sm^2 müəyyən edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, elektromaqnit şüalanmalarının verilmiş buraxıla bilən səviyyələri bu sahədə beynəlxalq qəbul olunmuş normativ göstəricilərlə üst-üstə düşür.

Dissertasiya işində Bakı şəhərində elektromaqnit şüalanma intensivliyinin beynəlxalq radiorabitə qaydalarına görə radiotezliklərin təsnifatında qəbul edilmiş, əhali üçün sanitar-gigiyenik elektromaqnit şüalanmaların uyğun buraxıla bilən normativlərinə uyğunluğunun qiymətləndirilməsi və eləcə də tədqiqatda aparılan hesablamalarda alınan nəticələrlə müqayisələndirilməsi məqsədi ilə şəhərin müxtəlif ərazilərində telekommunikasiya vasitələrinin elektromaqnit sahəsinin monitorinqi aparılmış, eksperimental nəticələr əldə olunmuşdur. Bakı şəhərində əhalinin və iş mərkəzlərinin sıx məskunlaşdığı və rabitə şəbəkələrinin radioötürücülərinin kompakt yerləşdiyi ərazilərdə onların yaratdığı elektromaqnit sahə gərginlikləri (ESG) ölçülmüşdür və təcrübi nəticələri verilmişdir [3]. Elektromaqnit sahəsinin intensivlikləri «ИПМ-101М» tipli elektrik sahə gərginliyinin ölçü cihazından istifadə etməklə ölçülmüşdür

Əhalinin sıx məskunlaşdığı iri şəhərlərdə elektromaqnit çirklənməsinin əsas səbəbi müxtəlif tezlik diapazonlu və təyinatlı çoxsaylı telekommunikasiya vasitələrinin eyni zamanda eyni ərazidə və fərqli şüalanma intensivliklərində fəaliyyət göstərməsidir.

Qeyd etmək lazımdır ki, mobil rabitə vasitələrinin ötürücü qurğularının birlikdə quraşdırıldığı əraziyə bilavasitə yaxın ərazilərdə yerləşən iş və yaşayış binalarının daxilində də elektromaqnit sahə gərginliyinin səviyyəsi yüksək ola bilər. Bu səbəbdən də yalnız aparılan ölçmələr sayəsində rabitə vasitələrinin ərazi üzrə sıx yerləşdiyi məkanlarda, onların birlikdə fəaliyyət göstərməsi şəraitində yaratdıqları elektromaqnit sahənin təhlükəsizliyi haqqında təsəvvür yarana bilər.

Eksperimental hissədə qeyd edilən ərazilərdə elektromaqnit sahəsinin superpozisiya prinsipinə əsaslanaraq 300 MHs dən yuxarı tezliklərdə işləyən radioötürücülərin ətrafında yaranan elektromaqnit sahə gərginlikləri ölçülmüş və nəticələr verilmişdir. Elektromaqnit sahəsi elektrik və maqnit komponentlərindən ibarət olduğu üçün nəticələr elektrik sahə gərginliyi- $E, V/m$ və maqnit induksiyası- $H, mkTl$ vahidləri şəkilində verilmişdir.

Ölçü aparılan ərazilər aşağıda göstərilmişdir:

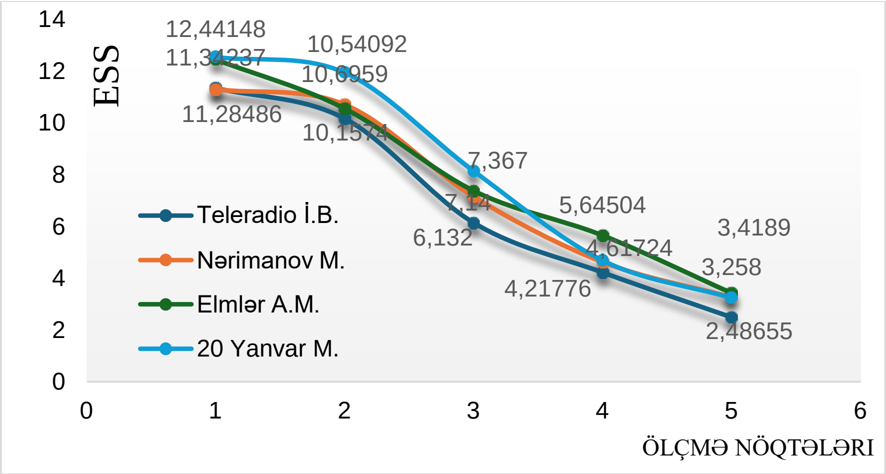
1. Ərazi №1- Teleradio istehsalat birliyinin ətrafı.
2. Ərazi №2- Nərimanov metro stansiyası ətrafı.
3. Ərazi №3- Elmlər akademiyası metro stansiyası ətrafı.
4. Ərazi №4- 20 Yanvar metro stansiyası ətrafı

ESS-nin qiymətinin müxtəlif ərazilər və ölçmə nöqtələrində dəyişməsi əyani olaraq qrafik 5-də göstərilmişdir.

Qrafikdən də göründüyü kimi ölçmələr aparıldığı ərazilərdə alınmış nəticələr normativdən çox olmuşdur:

$$ESS_{max} = \frac{11{,}34+11{,}28+12{,}44+12{,}53}{4} = 11{,}89\,\frac{mkVt}{sm^2}$$

Başqa sözlə göstərilən ərazilərdə BS yaxın zonada ESS maksimal qiymətləri normativ səviyyədən 1,89mkVt/sm^2 çox olmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, mobil rabitə sistemlərinin sıx yerləşdiyi ərazilərdə aparılan ölçmələr nəticəsində elektromaqnit şüalanmasının ən yüksək intensivliklərinin qiyməti şüalandırıcı antenalar qrupunun yerləşdiyi yerə 5-10 metr yaxın məsafələrdə müşahidə olunmuşdur.



Qrafik 5. Müxtəlif ölçmə məkanlarında ESS qiymətinin dinamik göstəricisi.

Məsafə böyüdükcə şüalanma intensivliyinin səviyyəsinin norma daxilində olduğu müşahidə edilmişdir.Həqiqətən də ESS qiyməti adətən baza stansiyasından uzaqlaşdıqca azalmağa doğru yönəlir. Bunu, bir çox fiziki hadisələri izah edə bilən və həmçinin radio dalğalarının yayılması zamanı da istifadə edilən məsafənin əks kvadratı qanunu ilə ifadə etmək olar. BS-a məsafədən asılılıq əmsalının ifadəsini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$ESS(r) = ESS_0 \cdot \frac{1}{r^2} \qquad (10)$$

burada, $E(r)$ – enerji selinin sıxlığının r – baza stansiyasına qədər məsafədən asılılığı; ESS_0 – ESS- nın ilkin r_0 – nöqtəsindəki qiyməti; r – baza stansiyasına qədər məsafə, r_0 – BS qədər olan ilkin məsafə.

Aparılan ölçmələrin nəticəsindən belə məlum olur ki, $E_0 = 11.89\, mkVt/sm^2$, ölçmə nöqtəsindən baza stansiyasına qədər məsafə $r = 5 \ldots 1000m$ və ölçmənin ilkin minimal məsafəsi $r_0 = 1m$.

Onda, ESS məsafədən asılılıq əmsalının qiyməti məsafənin kvadratına mütənasib şəkildə azalaraq aşağıdakı şəkil alacaq.

$$ESS(r) = ESS_0 \cdot \frac{r_0^2}{r^2} = 11.89 \cdot \frac{1^2}{1000^2} = 11.89 \cdot 10^{-6}\, mkVt/sm^2 \quad (11)$$

Beləliklə, 2-ci fəsildə təqdim edilmiş baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi üsulunun tətbiqi ilə aldığımız nəticəyə uyğun ESS qiymətini hesablayaq. Bildirildiyi kimi, tədqiqat zamanı 12 BS yerləşən 10 km^2 məkanda təklif edilən üsulla BS sayını 10-a endirmək mümkün olmuşdur. Bunu nəzərə alaraq ESS maksimal qiymətinin necə dəyişəcəyini aşağıdakı ifadədə yazmaq olar:

$$ESS_{max} = ESS_0 \cdot \frac{BS_0}{BS_Y} + ESS(r) \tag{12}$$

burada, BS_0-ilkin baza stansiyaların sayı, BS_Y- effektiv yerləşdirmə üsulu əsasında alınmış BS yeni sayıdır.

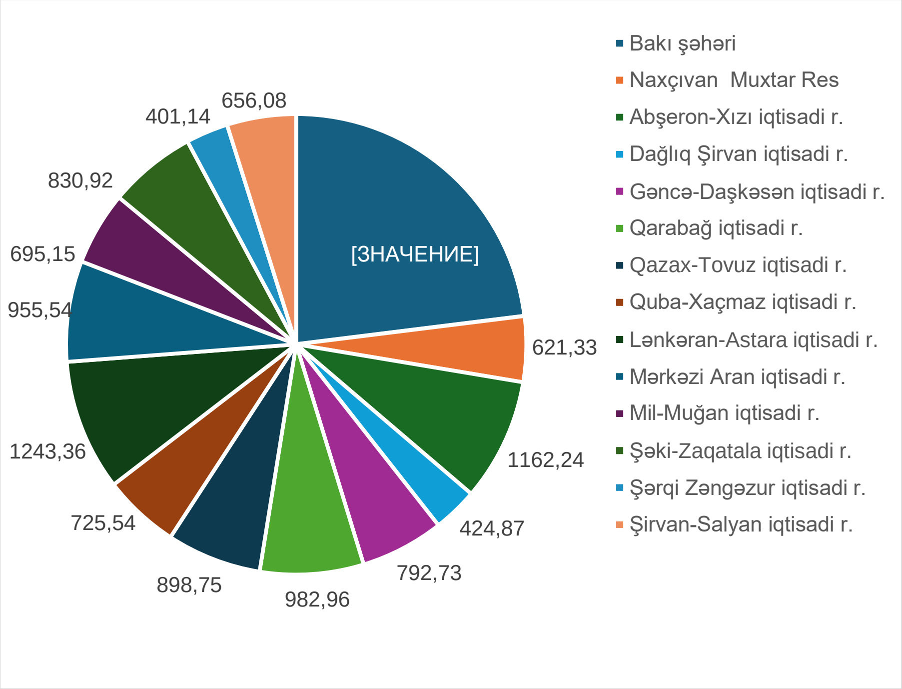
Beləliklə, məsafədən asılılıq əmsalı nəzərə alınmaqla yuxarıdakı ifadələrdə nəzərdə tutulan kəmiyyətləri yerinə qoysaq alarıq:

$$ESS_{max} = 11.89 \cdot \frac{10}{12} + 0.04 = 9.95\, mkVt/sm^2 \tag{13}$$

İfadədən göründüyü kimi ən yaxın zonada belə ESS-nın maksimal qiyməti $9.95\, mkVt/sm^2$ təşkil edir. Hesablamalar onu deməyə əsas verir ki, dissertasiya işində təqdim olunmuş mobil rabitə sistemlərinin antenalarının əhatə dairələrinin hədəsi korreksiya alqoritmi və baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi üsullarının tətbiq olunması ilə əhalinin sıx məskunlaşmış ərazilərində elektromaqnit şüalanmasını xarakterizə edən enerji selinin sıxlığı parametrinin qiyməti 1,94mkVt/sm^2 azalacaqdır.

Göründüyü kimi, baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi üsulunun tətbiqi vasitəsi ilə mobil rabitə sistemlərinin ötürücü qurğularının gücündən səmərəli istifadə olunması yolu ilə stansiyaların saylarını da məhdudlaşdırmaq mümkündür. Bundan başqa BS yerləşməsi üçün təklif olunan və ƏKK metodu əsasında işləyən həndəsi korreksiya üsulu optimal həllərin tapılması nöqteyi-nəzərdən perspektivli olduğundan şəbəkənin texniki-iqtisadi göstəricilərin yaxşılaşdırılmasına xidmət edə bilər. Bu məqsədlə aparılmış tədqiqatların nəticəsi olaraq mobil rabitə şəbəkələrinin effektivliyinin artırılmasının iqtisadi səmərəsi hesablanmışdır. Məlum olduğu kimi, xidmətin düzgün təşkil edilməsi üçün mobil rabitə şəbəkələri əhalinin sıx məskunlaşmış ərazilərində daha çox quraşdırılır. Lakin əhalinin mobil rabitə vasitələrindən istifadəsinin qiymətləndirilməsi üçün ölkə ərazisi üzrə əhali sayı və həmin əhalinin yaşayış yeri üzrə sıxlığı, ərazinin şəhər, qəsəbə və ya kənd

olduğu nəzərə alınmalıdır. Qrafik 6-də ölkənin ərazi vahidlərinin payına düşən BS saylarının nisbəti göstərilmişdir.



Qrafik 6. İqtisadi rayonlar üzrə inzibati ərazilərin mobil rabitə operatorları ilə əhatə olunması.

Qrafikdən göründüyü kimi, məskunlaşma daha sıx olduğuna görə burada əsas pay Bakı şəhərinə düşür. Beləliklə, inzibati ərazi vahidləri üzrə mobil rabitə şəbəkələrinin baza stansiyaları üçün yaza bilərik.

$$BS_{iə} = \frac{MO_{BS}}{R_{iə}} * 10km^2 \qquad (14)$$

burada, $BS_{iə}$- inzibati ərazisi üzrə BS- sayı, $R_{iə}$- respublika inzibati ərazisi, MO_{BS}-mobil operatorların baza stansiya sayları. Düsturdan respublika ümumi ərazisinin 10 km^2 ərazisi üçün mobil rabitə vasitələri BS orta qiymətlə saylarını təyin etmək mümkündür. Lakin nəzərə alsaq ki, şəhər, qəsəbə və kəndlərin ərazi və əhali nisbətləri fərqlidir, onların eyni şərtlərlə qiymətləndirilməsi doğru

deyil. Bu səbəbdən də düstura inzibati ərazini və əhalinin sıxlığını səciyyələndirən əlavə əmsalın daxil edilməsi zəruridir. Əlavə olaraq nəzərə almaq lazımdır ki, inzibati ərazilər üzrə şəhər qəsəbə və kəndlər elektromaqnit dalğalarının yayılması baxımından eyni şəraitə malik deyildir. Bu baxımdan dissertasiya işində mobil rabitə baza stansiyalarının ərazi üzrə ümumi bölgüsünün qiymətləndirilməsində göstərilən ərazi vahidləri üzrə əhali sıxlığı da nəzərə alınmışdır. Bunları nəzərə alaraq (14) düsturuna əhalinin sıxlığını səciyyələndirən əmsal daxil olunmalıdır. Əhali sıxlığını müəyyən etmək üçün hər bir inzibati ərazi üzrə əhali sayının ərazi ölçüsünə olan nisbəti tapılmalıdır:

$$Əh_{sıx} = \frac{Əh_{iə}}{Ər_{iə}} \qquad (15)$$

burada, $Əh_{sıx}$-əhalinin sıxlıq əmsalı, $Əh_{iə}$- inzibati ərazi üzrə əhali sayı, $Ər_{iə}$- inzibati ərazi ölçüsüdür.

Beləliklə, əhalinin sıxlığı nəzərə alınmaqla (15) düsturunu aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$BS_s = \frac{\left(\frac{MO_{BS}}{R_{iə}} * 10km^2\right)Əh_{sıx}}{100} \qquad (16)$$

burada, BS_s- baza stansiyalarının sayıdır.

Daha sonra həndəsi korreksiya üsulunun tətbiqi nəticəsində alınan saya əsasən hər bir 12 stansiya üçün ərazi üzrə azaldıla bilən edilən BS sayını hesablayaq.

$$BS_{az} = \frac{BS_{iəs}}{12} * 2 \qquad (17)$$

burada, BS_{az}- azaldılan stansiyaların sayı, $BS_{iəs}$-inzibati ərazi üzrə BS sayıdır.

Göründüyü kimi təqdim edilmiş üsulla sayları azaldıla bilən BS miqdarı və əraziləri müəyyən etmək olur. Hesablamalara əsasən alqoritmin tətbiq edilməsi ilə 15 ərazi üzrə 194 BS- azaldılması mümkündür. Buna əsasən baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi nəticəsində əldə edilə biləcək iqtisadi səmərə müəyyən edilmişdir. Bunun da öz növbəsində respublikaya 36 278 000 AZN iqtisadi səmərə verəcəyi gözlənilir.

NƏTİCƏ

1. Mövcud mobil rabitə sistemlərinin və telekommunikasiya vasitələrinin yaratdıqları elektromaqnit şüalanmasının və dəyişən radiotezlikli elektromaqnit sahəsinin təhlili aparılaraq bu şüalanmaların bioloji obyektlərlə qarşılıqlı təsiri ilk dəfə modelləşdirilmişdir [14, s.28-33].
2. Modelləşdirmə vasitəsilə yaradılmış çoxqatlı, dəyişən elektrofiziki xüsusiyyətli modelin qatları üzrə SAR -xüsusi udma əmsalının maksimal qiyməti 2.8 Vt/kq, olmuşdur. Şüalanma mənbəyinin 50 mm məsafədə yerləşdiyi halda bu göstərici 0.9 Vt/kq-a qədər azalmışdır [10, s.32-39; 12, s49-52].
3. Elektromaqnit enerjisinin bioloji strukturlarda yaratdığı istilik effektlərinin tədqiqi nəticəsində məlum olmuşdur ki, enerji selinin sıxlığının 100 $mkVt/sm^2$ qiymətində elektromaqnit sahəsinin 3-saat müddətində davamlı təsiri bioloji strukturlarda 0,66℃ temperatur yüksəlməsinə səbəb olur. Riyazi təhlil nəticəsində alınan nəticələrə əsasən toxuma dərinliyi və temperatur dəyişiklikləri arasındakı əlaqə təhlil edilmiş və temperatur dəyişikliyinin modelin 760mm dərinliyinə qədər müşahidə olunması müəyyən edilmişdir [11, s.718-723; 16 s.365-369].
4. Mobil rabitə şəbəkələrinin ötürücü qurğularının təsirinin azaldılması və şüalanma gücündən səmərəli istifadə edilməsi məqsədilə baza stansiyalarının əhatə dairələrinin həndəsi korreksiya alqoritmi tərtib edilmişdir. Alınmış həll variantlarının baza stansiyalarının fiziki baxımdan yerləşdirilməsi ilə ziddiyyət təşkil etmədiyi, onların klaster konfiqurasiya quruluşu ilə uyğunluq təşkil etdiyi, tək effektivlik baxımından deyil, eləcə də praktiki şərait baxımından geniş imkanlar yaratdığı sübut edilmişdir. Həndəsi korreksiya alqoritminin tətbiqi ilə BS5- klaster qrupunun əhatə radiusunun müsbət və mənfi diapazonda maksimal olaraq 1,7 dəfə dəyişilməsinə nail olmaq mümkün olmuşdur [4, s.201-203].
5. Mobil rabitə baza stansiyalarının effektivliyinin artırılması və sıx yerləşmə ərazilərində yayılan elektromaqnit şüalanmalarının intensivliyinin azaldılması məqsədilə baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi modelləşdirilmişdir. Effektiv yerləşdirmə üsulunun tətbiqi ilə 12 BS mövcud olan 10 km^2 şərti ərazidə rabitə

keyfiyyətinin saxlanması şərti ilə baza stansiyalarının sayını 10 stansiyaya endirilməsi mümkün olmuşdur [9, s.35-40].
6. Əhatə dairəsinin həndəsi korreksiya üsulunun tətbiqi ilə respublika ərazisində mobil rabitə baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi şəbəkələrin qurulmasında texniki və iqtisadi parametrlərin optimallaşdırılması baxımından səmərəli hesab olunur və üsulun tətbiqindən 36 278 000 AZN iqtisadi səmərə gözlənilir.
7. Bakı şəhərində mövcud mobil rabitə sistemlərinin elektromaqnit sahə intensivliklərinin monitorinqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, rabitə vasitələrinin kompakt quraşdırıldığı əhalinin və iş yerlərinin sıx olduğu ərazilərdə mobil rabitə tezliklərində işləyən radioötürücülərin antena qurğularına bilavasitə yaxın ərazilərdə maksimal enerji selinin sıxlığının qiyməti $ESS_{max} = 11{,}89\, mkVt/\text{см}^2$ olmuşdur. Qeyd edilən yerlərdə yaranan elektromaqnit şüalanma intensivliyinin yekun qiymətləri elektromaqnit şüalanmaların buraxıla bilən intensivliyi səviyyələrinə tətbiq edilən normativdən 1.89 $mkVt/\text{см}^2$ çoxluq təşkil edir [3, s.158-160].
8. Mobil rabitə sistemlərinin antenalarının əhatə dairələrinin hədəsi korreksiya alqoritmi və baza stansiyalarının effektiv yerləşdirilməsi üsullarının tətbiq olunması ilə əhalinin sıx məskunlaşmış ərazilərində elektromaqnit şüalanma mənbəyinə ən yaxın zonada ESS-nın maksimal qiymətinin $9.95\, mkVt/sm^2$, yəni hal-hazırkı qiymətindən 1,94 $mkVt/sm^2$ aşağı olacağı hesablanmışdır [6, s.181-186; 1, s137-139].

Dissertasiya işinin əsas məzmunu aşağıdakı elmi işlərdə dərc olunmuşdur:

1. Salahov Ə.Z. Müasir mobil telefonların elektromaqnit şüalanmalarının insan orqanizminə təsiri // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların 19-cu respublika elmi konfransının materialları. – Bakı: – 2015. – №1, – s. 137-139.
2. Salahov Ə.Z. Mobil telefon antenləri // Azərbaycan xalqının ümummilli lideri Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü il

dönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Gənclər və elmi innovasiyalar” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransının materialları, – Bakı: AzTU, – 3-5may 2017. – s. 244-246.
3. Salahov Ə.Z. Mobil telefon və baza stansiyalarının elektrik sahə gərginliyinin hesablanması / Ə.Z. Salahov R.Ş. Abdullayev X.X. Həşimov // Elmi əsərlər, – Bakı: AzTU, – 2018. – №1, – s. 158-160.
4. Salahov Ə.Z. Rabitə sistemlərində elektromaqnit həyacanlandırma məsələlərində Qrinin tenzor funksiyası metodu. // Elmi əsərlər, – Bakı: AzTU, – 2018. – №2, – s. 201-203.
5. Салахов А.З. Решения задачи о возбуждении сферических образований в целях выяснения влияния излучения от мобильных систем связи на голову пользователя. // Sənaye ilinə həsr olunmuş elmi texniki konfransın materialları, – Bakı: AzTU, –15-16 dekabr 2014. – s. 165-170.
6. Салахов А.З. Расчет мощности излучения телефона, поглощаемой в голове пользователя. // «İnformasiya və kommunikasiya texnologiyalarının müasir vəziyyəti və inkişaf perspektivləri» Beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, – Bakı: AzTU, – 27–28 oktyabr 2014. – s. 181-186.
7. Салахов А.З. Влияние на здоровье излучения сотового телефона. // «Микроэлектронные преобразователи и проборы на их основе». Материалы седьмой международной научно-технической конференции, – Баку-Сумгаит: НАА, СГУ, АзТУ, – 27–29 ноября 2013. – с. 66-69.
8. Салахов А.З., Рагимов А.Т. Влияние мобильных коммуникаций на организм человека. // “Микроэлектронные преобразователи и проборы на их основе”. Материалы седьмой международной научно-технической конференции, – Баку-Сумгаит: НАА, СГУ, АзТУ, – 2013, – с.75-78
9. Салахов А.З., Рагимов А.Т. Антенны сотовых телефонов как излучатель // Петербургский журнал электроники, – Санкт-Петербург: – 2017. – 4(89) – с. 35-40. https://elstandart.spb.ru/images/nauchd/ARHIV_JURNALOV/2017_4_full.pdf

10. Салахов А.З. Вспомогательные методы для вычисления поглощения мощности при высокочастотном излучении с помощью моделирования головы человека. // Биомедицинская радиоэлектроника, – Москва: Издательство “Радиотехника” – 2018. – №11. – с. 32-39.
https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36942203
11. Салахов А.З. Исследование рассеяния электромагнитных полей в биообъектах методом компьютерного моделирования // Информационные технологии, – Москва: Издательство “Новые технологии” – 2019. – Том 25, – №12, – с. 718-723.
http://novtex.ru/IT/it2019/1219_web-718-723.pdf
12. Салахов А.З. Численное моделирование поглощения энергии высокочастотного радиоизлучения в тканях головы человека // Медицинская техника, – Москва: – 2019. – №5. – с. 49-52.
http://www.mtjournal.ru/archive/2019/meditsinskaya-tekhnika-5/chislennoe-modelirovanie-pogloshcheniya-energii-vysokochastotnogo-radioizlucheniya-v-tkanyakh-golovy
13. Салахов А.З. Оценка воздействия средств мобильной связи пятого поколения 5G на человека путем экспериментального измерения и экстраполяции максимальной мощности электромагнитного поля // Вестник Российского нового университета, Серия: сложные системы: модели, анализ и управление, – Москва: РосНОУ, – 26–27 ноября 2020г. – с. 29-39.
14. Салахов А.З. Исследование распространения электромагнитных волн в многослойной биологической среде методом компьютерного моделирования. // Актуальные вопросы современной науки и практики. Сборник научных статей по материалам VI - Международной научно-практической конференции – Уфа: Издательство “НИЦ Вестник науки” – 14 сентября 2021, – с. 28-33.
15. Салахов А.З. Моделирование распространения электромагнитных волн средств связи в многослойной биологической среде. // Современные средства связи. «Материалы XXVI международной научно-технической конференции», – Минск: Белорусская государственная

академия связи, – 21–22 октября 2021, – с. 36–38
16. Salahov A.Z. Numerical simulation of high-frequency radio energy absorption in human head tissues // Biomedical Engineering, – New York: Springer, – January 2020. – Vol 53, – No 5, – p. 365-369.
https://link.springer.com/article/10.1007/s10527-020-09944-y

Həmmüəlliflərlə birlikdə dərc olunmuş elmi məqalələrdə müəllifin şəxsi iştirakı:

[3] – Alınmış diferensial tənliklərin həlli, hesabatların aparılması və nəticələrin təhlili

[8] – Məsələnin qoyuluşu, təcrübi tədqiqat işləri, Konfrans materiallarının tərtibi,

[9] Riyazi ifadələrin həlli, antena karkasının tərtib edilməsi, hesabatların çıxarılması.

Dissertasiyanın müdafiəsi 15.05.2025-ci il tarixində saat 14:00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.41 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Bakı şəhəri, H. Cavid prospekti 25

Dissertasiya ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 14.04.2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 12.04.2025

Kağızın formatı: A5 (210 x 148 mm.)

Həcm: 39150

Tiraj:100