

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ
AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ

YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU

Rüstəmovə Pəri Nadir, Rüstəmovə Səmə Loğman

Stels texnologiyalı kompozitlərin PUA-lara effektiv təsirinin tədqiqi mövzusunda

MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI

İxtisas: “XTB050105” Kompozisiya materiallarından müdafiə təyinatlı məmulatların
layihələndirilməsi və istehsalı

İxtiaslaşma: Metal əsaslı kompozisiya materiallarından hərbi təyinatlı məmulatların
istehsalı

Elmi rəhbər: Kimya üzrə fəlsəfə doktoru, dosent Ağayeva Mərziyyə Firudin qızı

MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ	3
FƏSİL I. PUALARIN TAKTİKİ TEXNİKİ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN VƏ XARAKTERİSTİKALARININ ÜMUMİ TƏHLİLİ	
1.1. Pilotsuz uçuş aparatlarının müdafiə sənayesində rolu və tarixi.....	5
1.2. PUA-ların təyinatı, növləri və taktiki-texniki xüsusiyyətləri.....	8
1.3. Müasir kompozit materialların hərbi sənayedə tətbiqinin araşdırılması.....	13
FƏSİL II. PUA-LARIN RADAR SİSTEMLƏRİNDƏN YAYINMASININ BAŞLICA AMİLLƏRİ VƏ TƏKLİF EDİLƏN METADOLOGİYASI	
2.1. Stels texnologiya anlayışı və onun qısa tarixi.....	15
2.2. Gizli texnologiyanın iş prinsipləri, üstünlükləri və PUA-lara tətbiqi.....	16
2.3. Radaruducu materiallar, təsnifatı və gizli texnologiyalarda tətbiqi.....	18
2.4. PUA-ların radar sistemlərindən yayınmasının başlıca amilləri.....	22
2.5. Stels texnologiyalı kompozitləri tətbiq edərək PUA-larda gözəgörünməzliyin artırılması.....	25
FƏSİL III. STELS TEXNOLOGİYALI KOMPOZİT MATERIALLARININ PUA-LARA EFFEKTİV TƏSİRİNİN ARAŞDIRILMASI	
3.1. Karbon tərkibli materialların stels texnologiyasında rolu.....	30
3.2. Radar uducu polimer örtüklərin tərkibinin araşdırılması.....	41
3.3. Yeni növ kompozit tərkibli boyalarla səthin örtülərək radar izindən qorunması.....	43
3.4. MAS-200, MAS-300 və MF-500 markalı nanoboyalarının tərkibi.....	44
3.5. Stels texnologiyasında istifadə olunan kompozitlərin fiziki və mexaniki xüsusiyyətlərinin analizi.....	47
NƏTİCƏ VƏ TƏKLİFLƏR	51
İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT	54

GİRİŞ

Tədqiqatın aktuallığı. Vətən Müharibəsinin 44 gününü döyüş əməliyyatlarının mürəkkəb relyef şəraitində həyata keçirildiyini nəzərə alsaq, deyə bilərik ki, bu qələbə döyüşən bölmələrdən xüsusi döyüş hazırlığı tələb edirdi. Bu baxımdan hərbi komandanlıq dağlarda döyüş təcrübəsini öyrənmiş xüsusi təyinatlı dəstələrdən istifadəyə, eləcə də müxtəlif pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) tətbiqinə üstünlük vermişdir. Çünki müharibə dönməndə ən əlverişli güclərdən biri də məhz PUA lardır. Belə ki, döyüş əməliyyatlarında öz milli müdafiə sənayemizin istehsalı olan PUA-larla yanaşı, Türkiyədən (Bayraktar -TB2) və İsraildən (Harop) alınan PUA-lar da tətbiq edilmişdir. Hərb sahəsində PUA-ların geniş tətbiqi onun digər sahələrdə də istifadəsinə zəmin yaratmışdır. Nəticədə sülh dövründə iqtisadiyyatın, elm və texnikanın müxtəlif sahələrində PUA-lardan geniş istifadə onun yeni bir texnologiya olaraq inkişafını sürətləndirmişdir. PUA-lar təyinatı, ölçüləri, funksiyası, uçuş uzaqlığı, avtonomluq səviyyəsi, dizayn və konfigurasiyası, uçuş növü, məqsədləri, taktiki texniki xüsusiyyətləri, enerji qida blokunun növü, daşdığı faydalı yükü, avtomatlaşdırma sistemi, toqquşmalardan qaçma sistemi, GPS naviqasiyasının növü, siqnalların susdurulması mühafizə sistemi, radiotezlik spektrinin buraxılış genişliyi və bir sıra digər xüsusiyyətlərinə görə bir-birindən fərqlənir. Eyni zamanda PUA larda əsas hissə kimi qanaqların olması da onun materialının düzgün seçilməsinə zəmin yaradır. Hal-hazırda bir çox ölkələrdə də bu böyük problem kimi görünür. Bu səbəbdən də yeni materialların araşdırılması və radar izindən qaçılması bütün dünya alimləri və aeorokosmiklər tərəfindən tədqiqatı aparılır.

Tədqiqatın əsas məqsəd və məsələləri. Stels texnologiyası radar, infraqırmızı sensorlar və digər vasitələrlə təyyarə və ya sualtı qayıq kimi obyektin aşkarlanmasını minimuma endirmək üçün istifadə edilən dizayn prinsipləri və texnologiyalar toplusuna aiddir. Bu, aşkarlanmasını və izlənməsini çətinləşdirmək üçün obyektin radar kəşifməsinə, istilik işarəsini, akustik işarəsini və elektromaqnit emissiyalarını azaltmağı nəzərdə tutur. Stels texnologiyasının əhəmiyyəti müxtəlif peşə və sənaye sahələrini əhatə edir. Hərbi sektorda gizli texnologiya təyyarələrin, sualtı qayıqların və quru nəqliyyat vasitələrinin düşmən radar sistemləri tərəfindən aşkarlanmasını

minimumuna endirməklə onların effektivliyinin artırılmasında mühüm rol oynayır. Aerokosmik sənayedə, azaldılmış radar kəsikləri ilə təyyarə dizayn etmək bacarığı missiyanın müvəffəqiyyətini və sağ qalma qabiliyyətini yaxşılaşdırmağa kömək edir. Bundan əlavə, hüquq-mühafizə və kəşfiyyat kimi sahələrdə gizli üsullar gizli əməliyyatlara və müşahidə fəaliyyətlərinə imkan verir. Görünməz dizaynda istehsal olunan pilotsuz uçuş aparatlarına müdafiə, aerokosmik və təhlükəsizlik kimi sənayelərdə yüksək tələbat var. Hərbi sahədə F-35 Lightning II qırıcısı düşmənin radar sistemləri tərəfindən aşkar edilməməsi üçün qabaqcıl gizli texnologiyadan istifadə edir ki, bu da ona düşmən ərazisinə gizli daxil olmağa və kritik tapşırıqları yerinə yetirməyə imkan verir.

Tədqiqatın predmet və obyekt. Tədqiqat aparıldığı zaman əsas obyekt kimi pilotsuz uçuş aparatlarından istifadə olunur. Tədqiqat işi əsasən PUA-ların qanadları, slindirik səthləri, ön hissə və motor hissəsi üzərindən davam etdirilir.

Tədqiqatın işlənmə metodları. Gizli Texnologiyanın əsas məqsədi ötürülən və əks olunan enerjiləri - istilik, işıq, səs, elektrik potensialını və s. - minimuma endirməyi hədəfləmək - rəqibin hədəfini tapmaq, izləmək, müəyyən etmək və ona hücum etməkdən imtina etməkdir. Gizli Texnologiyada fəaliyyət göstərə bilmək hər zaman hərbi texnologiya və texnikanın məqsədi olmuşdur. Təyyarənin görünməsi aerodinamik dizayndan asılıdır, gözə dəyməyən bir təyyarənin görünüşünü seçərkən onun əks etdirən formalarına diqqət yetirmək lazımdır. Təyyarəni radara görünməz etməyin iki yolu var, təyyarə elə formalaşdırıla bilər ki, əks etdirdiyi istənilən radar siqnalları radar avadanlığından uzaqda əks olunsun və təyyarə radar siqnallarını udan materiallarla örtülə bilər.

Tədqiqatın elmi yenilikləri. Son illərdə Al əsaslı infraqırmızı örtüklər B-2 və F117 təyyarələr üçün absorbent materiallardır və hərbi məqsədlər üçün daha çox istifadə olunur. Metal doldurucuların aşağı infraqırmızı emissiyasına görə, infraqırmızı gizli materiallar əsasında gümüş hissəciklər, Cu və Al pigment örtükləridir. Onların arasında alüminium lopa pigmenti iqtisadi cəhətdən səmərəliliyinə, ölkəmizdə daha

çox yayılmasına və infraqırmızı emissiyanın azaldılmasına görə əla performans göstərərək böyük diqqət qazanıb.

Tədqiqat zonası X diapazonu idi və BaTiO₃ ilə birləşmənin 2-3 mm qalınlığında 11,81 GHz-də parlaq mikrodalğalı udması müşahidə edilmişdir. Araşdırmalar zamanı belə nəticəyə gəlinib ki, BaTiO₃ konsentrasiyasını və araqatları qalınlığını dəyişdirməklə yüngül mikrodalğalı absorberlərin reallaşdırılması üçün elektromaqnit xassələrini uyğunlaşdırmaq olar.

İşin aprobeiası:

Müəlliflər: k.ü.f.doktoru, dosent Ağayeva Mərziyyə, Təyyarə doktoru, dosent Tamer Saraçyakupoğlu, Rüstəmovə Pəri və Rüstəmovə Səma

Məqələnin adı: Stels texnologiyalı kompozitlərin PUA-lara effektiv təsirinin tədqiqi

Konfrans: Azərbaycan Texniki Universitetində 1-2 may 2024 ci il tarixində keçirilən, Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 101-ci il dönümünə həsr olunan tələbə və gənc tədqiqatçıların "Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar" mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransı

Dissertasiya işinin sturukturu və həcmi. Magistr dissertasiya işi girişdən, 3 fəsildən, nəticələrdən və istifadə edilmiş ədəbiyyatların siyahısı olmaqla 60 səhifədə şərh olunmuşdur. Fəsillər üzrə müvafiq bəndlər öz əksini tapmışdır. Tədqiqat işində 35 şəkil, 6 cədvəl, 1 diaqram, 1 sxem və 36 ədəbiyyatdan istifadə edilmişdir.

FƏSİL I. PUALARIN TAKTİKİ TEXNİKİ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN VƏ XARAKTERİSTİKALARININ ÜMUMİ TƏHLİLİ

1.1. PUA-ların qısa tarixi və Müdafiə sənayesində rolu

Pilotsuz uçuş aparatı (PUA), ümumiyyətlə dron kimi tanınan, göyərtəsində heç bir insan pilotu, ekipajı və ya sənişini olmayan bir təyyarədir. ABŞ-ın istifadə etdiyi F-117A gizli döyüş təyyarəsi güclü möhkəmləndirilmiş hədəflərin əksəriyyətinə hücum etdi və İraqın hərbi qərargahlarını, elektrik stansiyalarını, C3 obyektlərini, hava hücumundan müdafiə əməliyyat mərkəzlərini, aerodromları, sursat bunkerlərini, bioloji, kimyəvi və nüvə silahı zavodlarını sıradan çıxartdı. Bu, Bağdadın şəhər sərhədləri daxilində hədəfləri vura bilən yeganə müttəfiq reaktiv idi və beləliklə, müharibədə mühüm ilkin irəliləyiş əldə etdi. Minlərlə zenit silahının və 60-dan çox yer-hava raket batareyasının şəhəri qoruduğu təxmin edilir, lakin bu keçilməz görünən qalxana baxmayaraq, F-117A şəhərin səmasına nüfuz etdi və düşmən silahlarından zərər görmədən şəhəri bombaladı. PUA-nın istehsalında iştirak edən iki əsas ölkə ABŞ və İsraildir, hər iki ölkə PUA dizaynında dünya liderləridir. Bu iki əsas ölkə daha sonra ehtiyaclarından asılı olaraq istehsal etdikləri PUA-ları digər dünya ölkələri üçün satışı çıxarmışdır. Bəzi ölkələr PUA-lardan kəşfiyyat xarakterli istifadə etsədə, digərləri isə döyüş məqsədləri üçün onlara ehtiyac duyur. Avstraliya aerokosmik sənayesi 1950-ci illərin əvvəllərindən etibarən PUA-lar inkişaf etdirir. Son illərdə PUA-ların inkişafı Avstraliya ordusuna müşahidə və sahil nəzarətində kömək etdi. Müşahidə tipli pilotsuz uçuş aparatları adətən kəşfiyyat tipli PUA-lar adlandırılır. Onların vəzifəsi təyin olunmuş bölgəni izləmək, oradakı görüntüləri əldə etmək və onlayn formada ötürməkdir. Günümüzdə təkcə döyüş PUA-larına tələbat yoxdur, həm də qeyri-hərbi PUA-lar üçün kommersiya maraqları da var. Bu kommersiya marağı müxtəlif ölkələrdəki özəl tərtibatçıların PUA-ların dizaynı və inkişafı ilə nəticələndi. Gizli qırıcı 1900 qırıcı və bombardmançıdan ibarət ümumi qüvvələrin yalnız 2-3%-ni təşkil etsə də, F-117A lazerlə idarə olunan bombalardan istifadə edərək strateji hədəf hücumlarının 40%-ni həyata keçirdi. Ümumilikdə Səhra

Fırtınası zamanı F-117A 1250-dən çox uçuş həyata keçirdi, 2000 tondan çox bomba atdı və 6900 saatdan çox uçdu.

[Henri. E, 2004, Zurich, 2011].



Şəkil 1.1. MQ-9 Reaper, ovçu-qatil nəzarət PUA-sı

Şəkil 1.1. General Atomics MQ-9 Reaper, ovçu-qatil nəzarət PUA-sı

Pilotsuz uçuş aparatı hədəfi tapdıqdan sonra birbaşa füzelyaja montaj olunan döyüş başlığı ilə özünü hədəfə çırpır. İsrail istehsalı olan Harop uçuş aparatı var ki, bu qurğu yerləşdiyi avtomobildə 45 dərəcə bucaq altında hərəkət edir.yerləşd texnika üzərində yerdəşdirilən Harop PUA-sı 200 km məsafədən idarə olunur. Aparat 16 min metr hündürlükdə uçduğuna görə düşmənin onu görüb, yerini müəyyən etməsi və vurması qeyri- mümkündür. Hədəfi izləyir, yerini müəyyən edir və komanda vasitəsilə hücum keçir[Konstantinos, Z., Alexios S., 2014]



Şəkil 1.2. Harop-3

Türkiyənin operativ taktiki orta yüksəkliklə uçan qırıcı milli pilotsuz döyüş PUA-sı Bayraktar TB-2 modeli 10 saat havada qalır. Rabitə radiosu üçün məsafənin 150 km olması əsas xüsusiyyətləridir. Qanad genişliyi 12 metr, uzunluğu 6,5 metr, maksimum sürəti isə 220 km saatdır. Bu aparatın qurucusu türkiyəli Səlcuq Bayraktardır. [Alexios S., 2014]



Şəkil 1.3. Bayraktar TB-2

Azərbaycan istehsalı olan zərbə pilotsuz uçuş aparatı ilk dəfə 2016- cı ildə Müdafiə Sənayesi Nazirliyinin azad sistemlər müəssisəsində ictimaiyyətə təqdim olunub. PUA xüsusi elektron sistemə malikdir və elektron maneə vasitələrinə qarşı dayanıqlıdır. Zərbə PUA-sı gecə və gündüz istənilən hava şəraitində hədəfi tapmaq , izləmək və

ona zərbə endirmək qabiliyyətinə malikdir. Peyk GPS əlaqəsi itən zaman aparat sərbəst döyüş üçün verilən tapşırığı yerinə yetirməyə qadirdir. Azərbaycana məxsus yeni uçuş aparatlarının üzərinə "iti qovan" sözləri yazılıb.



Şəkil 1.4. Azərbaycan istehsalı olan “İti Qovan” PUA-sı

Ümumiyyətlə, dronları performans xüsusiyyətlərinə görə də təsnif etmək olar. Çəki, qanad genişliyi, məsafə, maksimum hündürlük, qanad yükləməsi, dözümlülük, sürət və istehsal xərcləri daxil olmaqla xüsusiyyətlər müxtəlif dron növlərini fərqləndirən və faydalı təsnifat sistemlərini təmin edən vacib dizayn parametrləridir. Bundan əlavə, dronları mühərrik növlərinə görə təsnif etmək olar. Məsələn, PUA-lar tez-tez yanacaq mühərriklərindən, pilotlu uçuş aparatları isə elektrik mühərriklərindən istifadə edir. Dronlarda istifadə olunan hərəkət sistemlərinin növləri modellərinə görə fərqlidir. Pilotsuz təyyarələrin təklif olunan təsnifatı onların konfigurasiyasından asılı olaraq müxtəlif dron modellərini göstərir [Vehicles, Y. A, Hung, M., 2023].

PUA-ların təsnifatı. PUA-nın təsnifatına gəldikdə isə mühəndislər onları ölçüyə, diapazona və dözümlülüynə görə təsnif edir və ordu tərəfindən istifadə edilən idarəetmə sistemiylə işləyirlər. PUA-lar həmçinin ABŞ ordusu tərəfindən hazırlanmış səyahət edə bildikləri məsafələrə və havada dayanıqlığına görə aşağıdakı alt katoqoriyalara üzrə təsnif edilə bilər:

- Yaxın mənzilli PUA-lar
- Qısa mənzilli PUA-lar

- Orta mənzilli PUA-lar
- Dayanıqlı PUA-lar

ABŞ Müdafiə Nazirliyinin məlumatına görə, PUA-lar Cədvəl 1.1-də göstərildiyi kimi beş kateqoriyaya bölünür:

Cədvəl 1.1 ABŞ Müdafiə Nazirliyinə görə İHA-ların təsnifatı

Kateqoriya	Ölçü	Maksimum Ümumi Uçuş Çəkisi (MGTW) (lbs)	Normal İş Hündürlüyü (ft)	Hava sürəti (düyünlər)
Qrup 1	Kiçik	0-20	<1200 AGL*	<100
Qrup 2	Orta	21-55	<3500	<250
Qrup 3	Böyük	<1320	<18,000 MSL**	<250
Qrup 4	Daha böyük	>1320	<18,000 MSL	İstənilən hava sürəti
Qrup 5	Ən böyük	>1320	>18.000	İstənilən hava sürəti

*AGL = Yerüstü Səviyyə

**MSL = Orta Dəniz Səviyyəsi

PUA-ları digər kiçik dron tiplərindən (məsələn, MAV və NAV-lar) fərqləndirən əsas amillər maşının əməliyyat məqsədi, idarəetmə sisteminin mürəkkəbliyi, onun istehsalında istifadə olunan materiallar və dəyəri daxildir. PUA-lar ölçü və konfigurasiya baxımından çox müxtəlifdir. Məsələn, onların qanadları Boeing 737 kimi geniş və ya radio ilə idarə olunan drona nisbətən daha kiçik ola bilər. Ordunun tələblərinə uyğun olaraq müxtəlif növ PUA-lar yarandı. Bu səbəbdən, PUA-ları missiya imkanlarına görə təsnif etmək daha doğru olar. Şəkil 1.5-də müxtəlif tipli pilotsuz hava vasitələri təqdim olunur.



Şəkil 1.5. Müxtəlif tipli PUA-lar, (a) HTOL, (b) VTOL, (c) əyilmə-rotorlu PUA, (d) əyilmə qanadlı PUA, (e) əyilmiş gövdəli PUA, (f) kanallı fanatlı PUA, (g) helikopter (h) heli-qanad və (i) qeyri-ənənəvi PUA

PUA-lar geniş sayda performans xüsusiyyətlərinə görə təsnif edilə bilər. Ağırlıq, dözümlülük, uçuş məsafəsi, sürət və qanad yükü kimi müxtəlif PUA növlərini fərqləndirən və faydalı təsnifat sistemlərinə səbəb olan vacib xüsusiyyətlərdir [Vehicles, Y. A, Hung, M., 2023]. Qanad genişliyi, qiymət, və maksimum hündürlük də PUA-ları müqayisə etmək və təsnif etmək üçün nəzərdə tutula bilən xüsusiyyətlərdir. Bundan əlavə, mühərrik növü və işlənmiş maksimum güc də araşdırılacaq və bu parametrlərə əsaslanan təsnifat da təqdim ediləcək. Bu hesabatda nəzərdən keçirilən bütün PUA-lar yuxarıda qeyd olunan bütün performans xüsusiyyətlərini əks etdirən aşağıdakı cədvəldə təqdim olunur. Bu cədvəl istənilən PUA-nın xüsusi performans dəyərlərini axtarmaq üçün istinad kimi istifadə edilə bilər. Əhəmiyyətli performans xüsusiyyətləri:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| 1) Çəki | 2) Dözümlülük və məsafə |
| 3) Maksimum Hündürlük | 4) Qanad Yükləmə |
| 5) Mühərrikin növü | 6) Güc/Trust Yükləmə |

PUA-lar cəmi bir neçə funt ağırlığında olan mikro PUA-lardan tutmuş, 11 tondan artıq çəkisi olan nəhəng Global Hawk-a (Tier III) qədər müxtəlif çəkiləri əhatə edir. Aşağıdakı qrafikdə nəzərdən keçirilən bütün PUA-ların çəkiləri göstərilir və görünə bilər ki, çəkisi iki tondan çox olan yalnız bir neçəsi var və PUA-ların əksəriyyəti olduqca yüngüldür. Sonrakı qrafikləri araşdırdıqdan sonra PUA-ları çəkisinə görə fərqləndirmək üçün dörd təsnifat təklif olunur.

- Birincisi, uçuş çəkisi 2 tondan çox olan "super ağır çəkili" PUA-lar. Bu təsnifata Global Hawk, Predator, B Darkstar və X-45 daxildir.
- Növbəti təsnifata çəkisi 200 ilə 2000 kq arasında olan "ağır çəkili" PUA-lar daxildir. "Ağır çəki" təsnifat Fire Scout və Outrider arasındakı bütün PUA-ları əhatə edəcək.
- Üçüncü təsnifata çəkisi 50 kq-dan 200 kq-ı əhatə edən orta çəkili PUA-lar daxildir.
- Digər təsnifata 5 ilə 50 kq arasında olan "yüngülçəkili" PUA-lar aiddir.

Nəhayət, 5 kq-dan az olan PUA-lar üçün mikro PUA (UAV) təsnifatı mövcuddur. Buraya Pointer, FPASS, Dragon Eye və SilentEyes daxildir. Puanın göstərdiyi performans onun çəkisi ilə bağlıdır. Məsələn, artan çəki üçün daha çox itələmə və qaldırma tələb olunacaq, seçilmiş elektrik mühərrikinin növü fərqli olacaq və buna görə də qanadın genişliyi artacaq. Yüngül çəkili PUA-lar əsasən elektrik mühərriklərindən istifadə edir, super ağır çəkilər isə adətən turbo fan mühərriklərindən və ya turbo reaktivlərdən istifadə edir[Seong, H. K., Seul, Y. L., Yali Zhang, 2006]

Cədvəl 1.2. PUA-ların növünə görə təsnifatı

Çəkiyə görə təsnifatı		
Təyinatı	Çəki Aralığı	Nümunə
Super Ağır	>2000 kg	Global Hawk
Ağır	200 – 2000 kg	A-160
Orta	50 – 200 kg	Raven
Yüngül	5 – 50 kg	RPO Midget
Mikro	<5 kg	Dragon Eye

Pilotsuz uçuş aparatlarının çox hissəsi hərbi yönümlü inkişaf edib. Müxtəlif hərbi missiya tələbləri müxtəlif növ PUA-lar yaratmışdır. Bu səbəbdən, PUA-ları missiya imkanlarına görə təsnif etmək çox vaxt faydalıdır.

PUA-nın missiya imkanları aşağıdakı kateqoriyalara bölünə bilər:

- Kəşfiyyat, Nəzarət, Hədəflərin Alınması və Kəşfiyyat(ISTAR)
- Döyüş (UCAV)
- Çoxməqsədli PUA-lar
- Şaquli Eniş və Eniş (VTOL)
- Radar və Rabitə Relesi

Çoxməqsədli PUA-lar adətən silahlarla təchiz olunmuş kəşfiyyat PUA-larıdır. Onların əsas prinsipi adətən təhlükəli, tez sıradan çıxan hədəflərə qarşı gizli və silahlı kəşfiyyat aparmaqdır. Çoxməqsədli PUA-lar da öz-özünə idarə olunan silahlardan istifadə edərək zərbə endirə bilər. Verilən tapşırıqə uyğun olaraq silah tələb olunmadığı zaman, çoxməqsədli PUA-lar silahlı qüvvələr komandirinə dəstək olaraq müşahidə, kəşfiyyat və hədəf əldə etmək üçün də çox əlverişlidir[Seong, H. K., Seul, Y. L., Yali Zhang, 2006].



Şəkil 1.6. MQ-1 Predator

- Kəşfiyyat yırtıcısının çoxməqsədli versiyası
- İki AGM-114 Hellfire raketini daşıya və istifadə edə bilər
- Kritik və tez sıradan çıxan hədəflərə qarşı silahlı kəşfiyyat



Şəkil 1.7. MQ-5B Hunter

- RQ/MQ-1 predatorun zərbə və kəşfiyyat apara bilən genişləndirilmiş törəməsidir.
- AGM-114C/K Hellfire raketləri və digər idarə olunan silahlarla silahlandırıla bilər

Müasir dronlar hər biri xüsusi məqsədlər üçün hazırlanmış müxtəlif forma və ölçülərdə olur. Bəzi ümumi növlərə aşağıdakılar daxildir:

- **Sabit qanadlı dronlar:** Bunlar adi təyyarələrə bənzəyir. Uzun mənzilli və dözümlülük imkanları ilə tanınır.
- **Çox rotorlu dronlar:** Bunlar çeviklik, sabitlik və şaquli qalxma və enmə (VTOL) imkanları ilə tanınan ən çox istehsal olunan pilotsuz təyyarələrdir.

Hibrid dronlar: Sabit qanadlı və çox rotorlu dronların xüsusiyyətlərini özündə birləşdirərək, müxtəlif tapşırıqlar üçün çox yönlümlü dronlardır[Seong, H. K., Seul, Y. L., Yali Zhang, 2006].

PUA-lar bir neçə əsas komponentdən ibarətdir:

- Enerji mənbəyi: Adətən dronlar üçün elektrik enerjisi olaraq təkrar doldurulan litium-polimer və ya litium-ion batareyalardan istifadə edilir.
- Hərəkət sistemi : Mühərrikləri, pərləri, itələmə və idarəetməni təmin edir.
- Sensorlar : Bura naviqasiya və sabitlik üçün GPS , giroskop , akselerometr və altimetr (hündürlük ölçən) daxildir.
- Rabitə sistemləri : Dronlar uzaqdan idarəetmə və məlumatların ötürülməsi üçün Wi-Fi, radio və mobil şəbəkələr daxil olmaqla müxtəlif rabitə protokollarından istifadə olunur.

Uçuş nəzarətçisi : Uçuş əməliyyatlarını, o cümlədən naviqasiya, sabitləşdirmə və rabitəni idarə edən bort kompüter sistemidir[Binayak, P., Aditya, C, 2023].

Loiter sursat İHA Sistemləri: Müasir müharibə dönəmində “kamikadze pilotsuz uçuş aparatları” və ya “kamikadze dronları” kimi tanınan döyüş sursatları əhəmiyyətli bir güc nümayiş etdirdiyini hamımız bilir. Hansısa bir qurğu vasitəsi ilə kənardan idarə olunan və partladıla bilən partlayıcı maddələrlə doldurulmuş müşahidə və yaxud kəşfiyyat zamanı istifadə olunan İHA-lardan fərqli olaraq, pilotuz uçuş aparatları düşmən qüvvəsi ilə birbaşa əlaqə qura bilir ki, buda əhəmiyyətli dağıntı və itkilərlə

nəticələnmənin qarşısını almaqla nəticələnir[Saraçyakupoğlu, T., Delibaş H. D., Özçelik A. D, 2022].

Daşına bilən sursat PUA-larını adi silahlarla müqayisə etsək xeyli üstün xüsusiyyətlərə malik olduğunu görə bilərik. Onlarda yaxşılaşdırılmış dözümlülüğü onlara havada neçə saatlarla sərras şəkildə, eyni zamanda günlərlə qalmağa imkan yaradır, davamlı müşahidə edərək, əlverişli zamanlarda zərbə endirmək imkanını yaradır. Ölçülərinin kiçik və aşağı müşahidə qabiliyyətinin olması onları aşkar etmək və tutmaq prosesini çətinləşdirir. Eyni zamanda düşmən müdafiəsinə nüfuz edilməsində böyük rol oynayır. Araşdırmalar zamanı məlum olur ki, aşağı qiymətli olmaları onların digər silah sistemləri ilə müqayisədə daha səmərəli və döyüş qabiliyyətlərini artırmaq istəyən hərbiçilər üçün daha əlverişli edir[Saraçyakupoğlu, T., Delibaş H. D., Özçelik A. D, 2022].

Qeyd edə bilərik ki, daşına bilən sursatların istifadəsi etik və hüquqi baxımdan da narahatlıq doğura bilər. Belə ki, alimlər iddiasına görə, bu sistemlərin qeyri sabit təbiəti heablanmamış itkilərə və yaxud nəzarətdən kənar hücumlara məruz qalmasına səbəb ola bilər[Saraçyakupoğlu, T., Delibaş H. D., Özçelik A. D, 2022]. Silahlı qruplarda və ya qeyri-dövlət obyektlərində onları əldə edib müxtəlif mülki hədəflər üçün istifadəsi zamanı yarana biləcək asimmetrik müharibədə istifadə potensialı əhəmiyyətli dərəcədə aşağı alaraq çoxsaylı riskləri yaradır. Nəticə etibarilə də müasir müharibə müddətində PUA-ların istifadəsi, inkişafı və istehalı geniş müzakirə edilərək müxtəlif yeniliklər aparılır[Saraçyakupoğlu, T., Delibaş H. D., Özçelik A. D, 2022].

1.3. Müasir kompozit materialların hərbi sənayedə tətbiqinin araşdırılması

Kompozisiya materiallarının tətbiq sahəsi genişdir: - aviasiya – kosmik raketlətin, hərbi raketlərin və xüsusi texniki sahələrdən başqa onlar avtomobil sənayesində, turboqayırmada - maşınların gövdə və digər detalları üçün müvəffəqiyyətlə tətbiq oluna bilərlər. Dağ mədən sənayesində - yüksək bərkliyə malik olan qazma maşınları, qazma aləti və s. Üçün metallurqiya sənayesində - sobaların, qabıqların və

s. üzlənməsi üçün sobaların ucluqları, odadavamlı materiallar, termocütlərin armaturları; yüksək istiliyə dözümlü soba hissələri; - tikintidə - körpülərin aşırımları, körpü fermalarının dayaqları, hündürlük yığma qurğular üçün panellər, müxtəlif tikintilərin dayaq qurğuların hazırlanmasında və s. Bundan əlavə olaraq kompozisiya materiallarından həm də hərbi sənayedə istifadə olunur [Binayak, P., Aditya, C, 2023]. Hərbi sənayedə-silahların qundaq, ötürücü, gövdə, patron qutusu kimi hissələrin hazırlanmasında istifadə olunur. Bundan əlavə bu gün təyyarə sənayesində, kompozit materialların istifadəsi 30% -ə çatıb. Müdafiə sənayesində istifadə üçün istehsal olunan kompozit materiallara qoyulan tələblər yüksəkdir. Kimyəvi tə, korroziyaya və rəngləmə qabiliyyətinin və örtük çəkilmə qabiliyyətinin yüksək olmasıdır.

Müasir raket-kosmik texnika, aviasiya, gəmiqayırma, maşınqayırma polimer materialsız hazırlana bilməz. Nə qədər texnikanın bu sahələri inkişaf edir, bir o qədər çox onlarda kompozitlər istifadə olunur, bu materialların keyfiyyəti yüksək alınır. Onlardan əksəriyyəti ən yaxşı metallik (alüminium və titan) ərintiləridirki, yüngül möhkəm və onların tətbiqi məmulatın çəkisini (təyarələr, raketlər, kosmik gəmilər) yüngülləşdirməyə və uyğun olaraq yanacaqın sərfini azaltmağa imkan verir. [Seong, H. K., Seul, Y. L., Yali, Z. 2006].

FƏSİL II. PUA-LARIN RADAR SİSTEMLƏRİNDƏN YAYINMASININ BAŞLICA AMİLLƏRİ VƏ TƏKLİF EDİLƏN METADOLOGİYASI

2.1. Stels texnologiya anlayışı və onun qısa tarixi

Stels texnologiyası - digər adla az görünmə texnologiyası hava döyüş maşınlarını, gəmiləri, raketləri, sualtıgəmiləri, peykləri və hərbiçiləri düşmən üçün daha az görünən etmək üçün taktikalar toplusudur. Stels texnologiyaları əsasən radarlar, infraqırmızı radarlar və sonar radarlara qarşı nəzərdə tutulur. Texnologiyada sadalanan elektromaqnit spektrləri üçün hərbi kamuflyajə ehtiyac duyulur (yəni, çox spektrli kamuflyaj). Gizlilik mahiyyətə bir neçə texnologiyanın birləşməsidir, bunların hamısı birlikdə təyyarənin aşkar oluna biləcəyi məsafəni əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. Bu, RCS, akustik imza, istilik izi və digər aspektlərin azaldılmasını əhatə edir və ümumilikdə Gizlilik İmzası adlanır(Stealth Signature). "Gizlilik" termini 1991-ci ildə Körfəz Müharibəsində F-117 gizli qırıcısı yerləşdirildikdə məşhurlaşdı[Binayak, P., Aditya, C, 2023]..



Şəkil 2.1. F -22 raptor (görünməzliyi təmin etmək üçün qanadın ön kənarı və quyruq müstəvisi eyni bucaq altında qurulur)

Ekologiyamıza əhəmiyyətli töhfə verən F-117 təyyarəsində yansımaları azaltmaq üçün əyilmiş quyruq səthlərinin şaquli hissəsində stabilizator yerləşdirilmişdir. İstifadə edilən daha radikal üsul, B-2 Spirit-də olduğu kimi quyruğu yerləşdirməmək və ya radar dalğalarını əks etdirəcək bucaqları olmadığı üçün mükəmməl gizli forma

əldə etməkdir. Gizli dizayn zamanı mühərrikləri qanadın və ya gövdənin içərisində gizlətməli və ya kompressor qanadlarının radar tərəfindən görünməməsi üçün hava girişlərində tıxaclar quraşdırılmalıdır. Pervanelər və reaktiv turbin qanadları parlaq radar görüntüsü yaradır [Binayak, P., Aditya, C, 2023]. Qanadın ön kənarı da radar dalğalarını əks etdirir və dalğaları tutmaq üçün radar udma materialları tələb olunur. Təyyarədə heç bir çıxıntı olmamalıdır. Silahlar, hava girişləri, yanacaq çənləri və digər anbarlar xaricə daşınmamalıdır. Qapı və ya lyuk açılarda belə gizli olur.



Şəkil 2.2. F-22 Raptor-havadan havaya döyüşə bilən ilk gizli döyüş təyyarəsi

Stels texnologiyasının tarixi. Birləşmiş Ştatlarda müasir gizli texnologiyaların inkişafı 1958-ci ildə başladı, burada Sovet İttifaqı tərəfindən Soyuq Müharibə zamanı U-2 casus təyyarələrinin radarla izlənməsinin qarşısını almaq cəhdləri uğursuz oldu. Dizaynerlər, radarlardan elektromaqnit şüalanma dalğalarını göndərərək aşkarlamağı azaltmağa meyillli olan pilotsuz uçuş aparatları üçün xüsusi bir forma hazırlamağa başladılar. Radiasiya uducu material da təcrübədən keçirilmiş və təyyarənin səthindən əks olunan radar siqnallarını azaltmaq və ya bloklamaq üçün hazırlanmışdır. Northrop Grumman B-2 Spirit "Stealth Bomber"-də forma və səth tərkibinə dəyişikliklər edilərək Stels texnologiyası tətbiq edilmişdir. [Ravinder Kumar, I.Catalin Pruncu, 2010].

Gizli texnologiya hərbi müşahidə sahəsində hərbi texnikanın sıradan çıxmasını artırmaq üçün istifadə olunur, çünki o, düşmən radar sistemləri tərəfindən özünü

aşkar edilə bilməyən etmək üçün bir neçə texnikanın birləşməsindən istifadə edir. Radar udma materialları (RAM) hərbi texnikalarda passiv əks tədbirlərin əsas komponenti olan gizlilik qabiliyyətini təmin etmək üçün radar siqnallarının əksini (və ya udulmasını) azaltmaq üçün istifadə olunan xüsusi materiallardır. RAM-ların xassələri onların tərkibini, mikrostrukturunu və səth həndəsəsini tənzimləməklə optimallaşdırıla bilər[Ravinder, K. I., Catalin, P., 2010]. Karbon əsaslı materiallar, yüksək elektrik keçiriciliyinə, böyük spesifik səth sahəsinə, yüngül çəkiyə, əla dielektrik xüsusiyyətlərinə və sərt şəraitdə dayanıqlığına görə ultra nazik, çox yönlü və yüksək performanslı RAM-ların istehsalı üçün perspektivli bir yanaşma təqdim edir. Gizlilik anlayışı düşmən qüvvələrinə dost qüvvələrin mövcudluğuna dair heç bir işarə vermədən əməliyyat etmək və ya gizlənməkdir. Bu konsepsiya ilk dəfə obyektin görünüşünü vizual fona uyğunlaşdırmaq üçün kamuflyaj vasitəsilə tədqiq edilmişdir[Hafiz T. H., Ali,A. M, 2020]. Aşkarlama və ələ keçirmə texnologiyalarının (radar, infraqırmızı axtarış və izləmə, yer-hava raketləri və s.) gücü artdıqca, cavab olaraq hərbi personalın və nəqliyyat vasitələrinin dizaynına və istismarına da təsir göstərmişdir. Bəzi hərbi formalarda infraqırmızı imzasını azaltmaq üçün kimyəvi maddələrdən istifadə olunur. Müasir gizli avtomobil seçilmiş spektral imzaya sahib olmaq üçün əvvəlcədən hazırlanmışdır. Müəyyən bir dizaynda istifadə olunan gizlilik dərəcəsi proqnozlaşdırılan aşkarlanma təhlükələrinə uyğun olaraq seçilir[Hafiz T. H., Ali,A. M, 2020].

1970-ci illərdə ABŞ Müdafiə Nazirliyi stels qırıcı döyüş təyyarəsinin hazırlanması proyektinə start verdi. Bu layihədə Lockheed və Northrop multimilyard dollarlıq müqaviləlik təyyarəni istehsal etmək uğrunda mübarizə aparırdılar. Nəticədə, sonradan təkmilləşdirilərək F-117 Nighthawk olacaq təyyarə -Lockheed Have Blue Northropun təyyarəsini üstələyərək birinci seçildi.

Lockheed öz təyyarəsinin dizaynında rus fiziki Pyotr Ufimtsevin elmi əsərlərinə istinad edib. Belə ki, dalğaların fiziki obyektlər üzərindəki xassələrini araşdırmış rus aliminin yazdığı kitab nəticəsində, Lockheed şirkəti öz təyyarəsinin dizayn konsepsiyasını qurdu. Lockheed F-117-dən əlavə olaraq Northropun sonradan

yaradacağı əfsanəvi B-2 bombardmançı təyyarəsində də Pyotr Ufimtsevin elmi işindən istifadə olunacaqdı[Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016].

Sonradan həmin kitab "Diffraksiyanın Fiziki Nəzəriyyəsində Künc Dalğaların Metodologiyası" adı altında tərcümə olunub çap edildi. Kitabda yazılmış düsturlar təyyarənin aerodinamik strukturunun radara necə düşəcəyini hesablamağa imkan verirdi. Lockheed də bu düsturlardan istifadə edərək kompüter simulyasiyası ilə "almaz" dizaynı struktur hazırladı. Bunun nəticəsi olaraq F-117 təyyarəsinin çıxıntıları "almaz" kimi sərtir.[Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016].

2.3. Gizli texnologiyanın iş prinsipləri, üstünlükləri və PUA-lara tətbiqi

Gizli texnologiya əslində necə işləyir? Görünüşü azaltmaq üçün istifadə edilən bütün tədbirləri bir neçə sahəyə bölmək olar. Bu hansı cihazları aldatmaq istədiyimizdən asılıdır. Bu gün ilk növbədə radar texnikalarını. Radarı necə aldatmaq olar? Hər hansı bir obyekt yalnız ondan elektromaqnit dalğası əks olunduqda və qəbuledici antenaya qayıtdıqda radar stansiyasına (radarına) görünə bilər[Hafiz T. H., Ali,A. M, 2020].. Gözlərimiz də eyni şəkildə işləyir, yeganə fərq görünən işığın dalğa uzunluğunun 450-630 nanometr (0.000000001 “metr”), tezliklərin isə 690-405 Terahertz (tera 1.000.000.000) diapazonunda olmasıdır- “trilyon”). Radar eyni elektromaqnit dalğalarından istifadə edir, yalnız dalğa uzunluğu 0,02 ilə 0,3 metr arasında olan 1 ilə 3 Gigahertz (Giga 1.000.000.000 - "milyar") tezliyi ilə dalğa uzunluğu 0,02-0,3 metr, tezliyi 1-3 Gigahers (Giga 1.000.000.000 - "milyar") olan eyni elektromaqnit dalğalarından ibarət radarlardan istifadə olunur.[Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016]. Yəni tezlik və dalğa uzunluğunda böyüklük sıralarına görə fərqlənən vibrasiyalar. Amma bunlar yenə də eyni dalğalardır və eyni qanunlara tabedirlər.

Beləliklə, radarı aldatmaq üçün onun radiasiyasını əks etdirməməlisiniz. İki hiylə var, ya radioşəffaf (müəyyən radiasiya üçün) materialdan (məsələn, karbon lifi və ya

ağacdan) və ya radio uducudan istifadə etmək lazımdır[Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016]. Hər iki variant mümkündür və hətta çox uzun müddətdir ki, praktikada istifadə olunur. Ancaq üçüncü, daha hiyləgər bir yanaşma var.

Dalğalar istənilən yerdə əks oluna bilər, lakin radar antenası istiqamətində deyil. Bunu etmək üçün, obyektin formasını dəyişdirərək əldə edə biləcəyiniz xüsusi örtüklərdən də istifadə etmək olar[Hafiz T. H., Ali, A. M., 2020].

Cihazın özü ətraf mühitdən temperaturla fərqlənir və "Termal görüntünü" aldatmaq üçün biz onun istilik imzasından istifadə edərək bir təyyarəni aşkar edib vura bilərik. Mühərrik turbinindəki qazın temperaturu 1700-1800 dərəcə Selsiyə çata bilər. Bu o deməkdir ki, belə bir təyyarə on kilometrə məsafədən aşkarlanma və hücumu məruz qala bilər. Ancaq təbii ki, antidot tapıldı. Aydınır - təyyarənin (və ya digər avadanlıqların) istilik radiasiyasını azaltmaq.

Radar diapazonunda görmə qabiliyyətini azaltmaq üçün istifadə edin:

- xüsusi örtük (radio-uducu və ya radio-şəffaf) və dizaynda eyni hissələr
- radio dalğalarını fərqli istiqamətdə əks etdirən xüsusi forma
- kompressor və turbin qanadlarının ekranlanması
- "parlaq nöqtələrin" görünüşünü aradan qaldıran dizayn (radio dalğalarını yüksək əks etdirən zonalar)

IR imzasını azaltmaq üçün adətən aşağıdakılardan istifadə olunur:

- mühərrik nozzinin xüsusi forması, həmçinin qoruyucu (məəyyən bir istiqamətdən, məsələn, aşağıdan görünməni azaltmaq üçün)
- xüsusi yanacaq və ya ona əlavələr

Aydınır ki, tamamilə qara cismə (infracırmızı diapazonda) çevrilmək mümkün olmadığı kimi, radiodalğaların əksini tamamilə aradan qaldırmaq mümkün deyil. Amma bu lazım deyil. Antenaya qayıdan və ya infracırmızı raketin matrisinə dəyən siqnalın gücünü azaltmaq mümkün olsa belə, bu, onun daha uzun müddət aşkarlanmamasına kömək edəcək[Ravinder, K. I., Catalin P., 2010].

Görünüşi azaltmaq üçün texnikalar

- 90 dərəcədən çox əyilmiş (ideal olaraq onun olmaması)
- Yastı gövdə forması (tercihen gövdəsiz)
- Bütün struktur elementlərin hamar birləşməsi (90 dərəcə bucaq olmadan)
- "Təmiz" formalar (çixıntılı hissələr yoxdur)
- Parçaların dəqiq quraşdırılması
- Lyukların, qanadların və birləşmələrin mişar dişi formaları
- Müxtəlif proyeksiyalarda paralel üzlər
- Bağlanmamış Fənər
- Daxili silah bölmələri

Materialların və örtüklərin istifadəsi:

- Radiouducu örtüklər (boyalar)
- Dizaynda radar uducu materiallar
- Radioşəffaf materiallar



Şəkil 2.3. Hamar B-2 formaları və F-15 barmaqlıqları, birləşmələr, antenalar

Mühərrikin qanadın və düz ucluqların üstündə yerləşdirilməsi. Xüsusi qanad forması, "təmiz" konturlar (antenalar, pərçimlər, barmaqlıqlar daxil olmaqla, ən kiçik çixıntılar olmadan), iri dəri hissələri (birləşmələrin sayını azaltmaq üçün), mişar dişli birləşmələr, mühərriklər və "gövdə" ilə hamar əlaqə (və düz bucaq yoxdur). İlk dəfə radar imzasını azaltmaq üçün S formalı hava girişləri istifadə edildi, buna görə də mühərriklərdə ön barmaqlıqlar yoxdur [Hafiz T. H., Ali, A. M., 2020]. Ancaq turbin

bıçağının arxasında daha hiyləgər bir cihaz - radar blokeri örtülmüşdür. Təbii ki, dizaynda radio uducu materiallardan istifadə edilib və eyni örtük boya şəklində, hətta kabinənin şüşələri üçün xüsusi çiləmə üsulu ilə hazırlanmışdır[Ravinder, K. I., Catalin P., 2010].



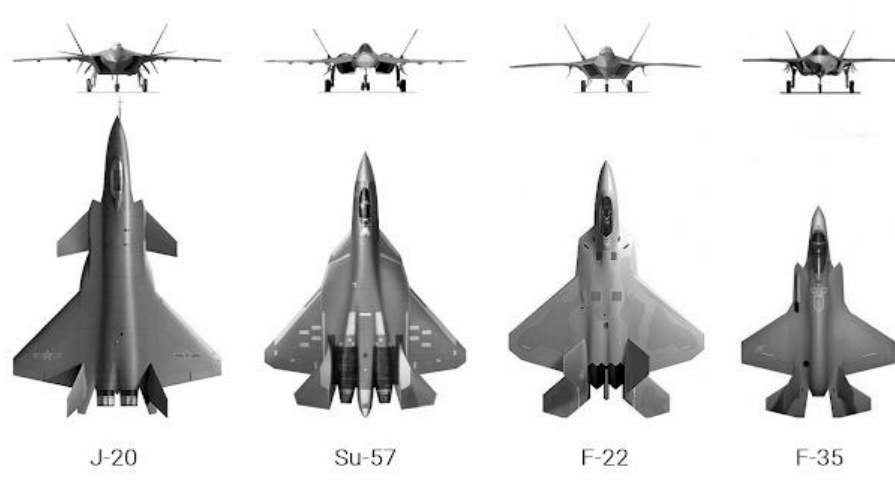
Şəkil 2.4. F-22 Raptor. Düz mühərrik burunları



Şəkil 2.5. Ön tərəfdən F-22, quyruğun paralel xətləri və hava girişləri

Hər iki prototipə yuxarıdan baxsaq, qanadın və quyruğun kənarlarının bir-birinə paralel olduğunu görəcəyik. Eyni şey, ön tərəfdən baxıldığında, şaquli quyruq hava girişlərinin xətlərinə paraleldir. Bütün bunlar eyni məqsədə xidmət edir - siqnalı yan tərəfə əks etdirərək radar imzasını azaltmaq mümkündür. Əgər kənarlar paralel

olmasaydı, qanaddan əks olunan dalğa və quyruqdan əks olunan radio dalğası fərqli istiqamətlərə göndərilər və siqnalın bir hissəsi yenidən radar antenasına qayıda bilərdi[Ravinder, K. I., Catalin P., 2010]. Bunun ardınca karbon qaraları, karbon lifləri, karbon nanoboruçları, qrafit, qrafen və MXene daxil olmaqla karbon əsaslı RAM-larda son tədqiqatların gedişatı müzakirə edilir və elektromaqnit zəifləmə xüsusiyyətlərinə dair prinsip və strategiyaların dərinlən araşdırılması ilə müşayiət olunur.



Şəkil 2.6. Bunların hamısının ortaq cəhətləri çoxdur

Ümid edirik ki, bu araşdırma karbon əsaslı RAM-ların dizaynı və istehsalı ilə bağlı yeni perspektivlər təqdim edəcək və bununla da daha dərin fundamental anlayışı gücləndirəcək və praktiki tətbiqləri təşviq edəcək[Ravinder, K. I., Catalin P., 2010].

2.3. Radaruducu materiallar, növləri və təsnifatı, gizli texnologiyalarda tətbiqi

RADAR(Radio Detection and Ranging) sözlərinin qısaltmasıdır. Radar obyektlərin diapazonunu, hündürlüyünü, istiqamətini və ya sürətini təyin etmək üçün radio dalğalarından istifadə edən obyekt aşkarlama sistemidir. Radar (radio dalğaları) adətən görünməz olsa da, ətrafımızda istifadə olunan bir şeydir. RADAR əsasən iki əsas prinsip üzərində işləyir.

RADAR hədəfləri aşkar etmək və ya landşaftların trayektoriyasını təyin etmək çəkmək üçün spektrin mikrodalğalı hissəsində əks olunan elektromaqnit dalğalarının istifadəsidir. RADAR əvvəlcə hədəfi işıqlandırır, yəni onun istiqamətində radio impuls ötürür[Hafiz,T. H., Ali A. M., 2020].

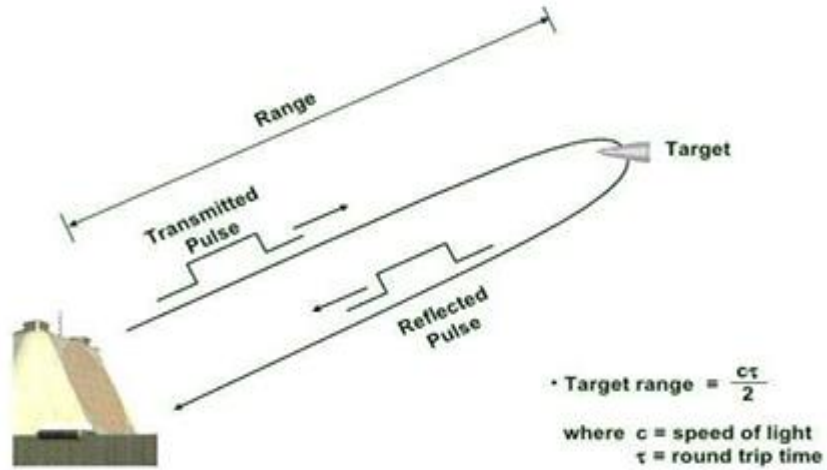
Cədvəl 2.1. Radar tezlik diapazonları

Radar tezlik diapazonları (IEEE)	Radar diapazonu	Dalğa uzunluğu	İstifadə olunub
C	4-8 GHz	7,5-3,75 sm	Uzun məsafəli izləmə, hava müşahidəsi, silah yeri; yüngül/orta yağışda hava təsirinin artması.
X	8–12,5 GHz	3,75-2,4 sm	Qısa mənzilli izləmə, raket rəhbərliyi, dəniz radarının xəritələşdirilməsi, havadan tutma, döyüş sahəsinə nəzarət, silah yeri.
K _u	12,5-18 GHz	2,4-1,7 sm	Yüksək rezolyusiyaya malik xəritəçəkmə, peyk hündürlüyü, su buxarının udulmasına görə qısa məsafə.
K	18–26,5 GHz	1,7-1,1 sm	Polis radarı; yüksək su buxarının udulması səbəbindən çox məhdud istifadə.
K _a	26,5–40 GHz	1,1-0,75 sm	Qısa məsafəli çox yüksək rezolyusiyaya malik xəritəçəkmə, hava limanına nəzarət; su buxarının udulmasına görə qısa diapazon.
V	40-75 GHz	0,75-0,4 sm	Elmi məsafədən zondlama; yüksək su buxarının udulması.
W	75-110 GHz	0,2-0,1 sm	Avtomobil kruiz nəzarəti (77 GHz), raket axtaranlar, çox yüksək qətnamə təsviri (94 GHz).

Adından da görüldüyü kimi, bu, səs dalğaları ilə əlaqədardır, çünki qışqırıqlarınızdakı bəzi səs dalğaları gizli texnologiyada mexanik aspektləri əks etdirir. Güzgü işıq dalğalarının insanın özünə əks olunmasının nümunəsidir. Xarici mənbədən gələn işıq bədənə dəyir və bir neçə istiqamətdə sıçrayır. Bəzi işıq dalğaları güzgüyə doğru yayılır və sonra güzgüdən həmin şəxsin gözlərinə əks olunur. Eyni prinsip radio dalğalarına da aiddir. Radio dalğaları işığın sadəcə görünməyən formalarıdır.

Radarmın ideyası radio dalğasını ötürmək və sonra təyyarədən əksini almaqdır. Göndərmə və qəbul arasındakı vaxtın miqdarı təyyarənin radar stansiyasından nə qədər uzaq olduğunu müəyyən etmək üçün işıq sürəti üçün çox dəqiq bir rəqəmlə istifadə edilə bilər[Ravinder, K. I., Catalin P., 2010].

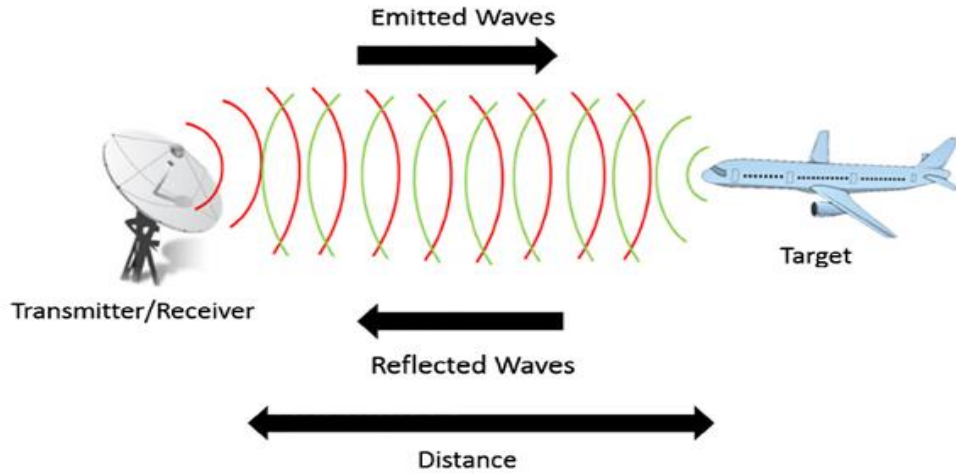
Radarmın işlənmə prinsipi. Radar qabı və ya antenası, yolundakı hər hansı bir obyektədən sıçrayan radio dalğalarının və ya mikrodalğaların impulslarını ötürür. Obyekt dalğa enerjisinin kiçik[Kumar Rajak, Durgesh D. Pagar , Ravinder Kumar, 2015]. Bir hissəsini adətən ötürücü ilə eyni yerdə yerləşən qaba və ya antenaya qaytarır.



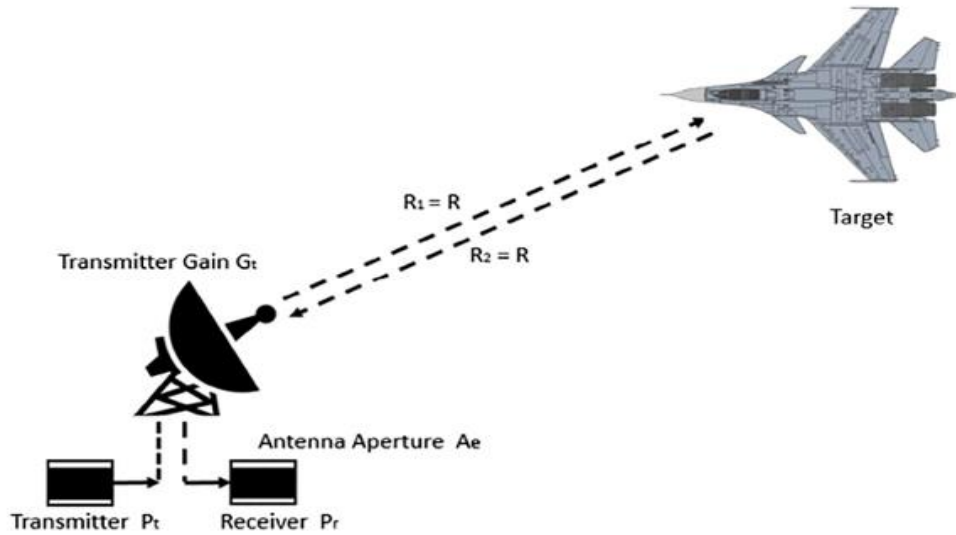
Şəkil 2.7. Radar diapazonunun ölçülməsi

Görünməzliyi yaratmağın iki fərqli yolu var:

1. Təyyarə elə formalaşdırıla bilər (Dizayn) ki, əks etdirdiyi hər hansı radar siqnalları radar avadanlığından uzaqda əks olunsun.
2. Təyyarə udulan materiallarla örtülə bilər radar siqnalları (həmçinin Radar Absorbing adlanır , Materiallar "RAM")



Şəkil 2.8. Radarın iş prinsipinin vizuallaşdırılması



Şəkil 2.9. Faktorların vizuallaşdırılması hədəfin aşkar edilməsini əhatə edir

Radarın udulması gizli texnologiyalar üçün əsas və ən vacib tələbdir. Radar ilk dəfə Almaniyada (1904) Kristian Hulsmeyre tərəfindən patentləşdirilmiş "Radio Detection and Ranging" deməkdir[Kumar, R., Durgesh, D. P., Ravinder, K, 2015]

Radar sistemləri İkinci Dünya Müharibəsi zamanı hazırlanmışdır və onların irəliləməsi bu günə qədər davam edir. Radarın işləmə prinsipi elektromaqnit enerji

impulslarını hədəf istiqamətində göndərməkdir. Bu impulslar işıq sürəti ilə, demək olar ki, maneəsiz olaraq, bir cisimlə qarşılaşana qədər kosmosda hərəkət edir.

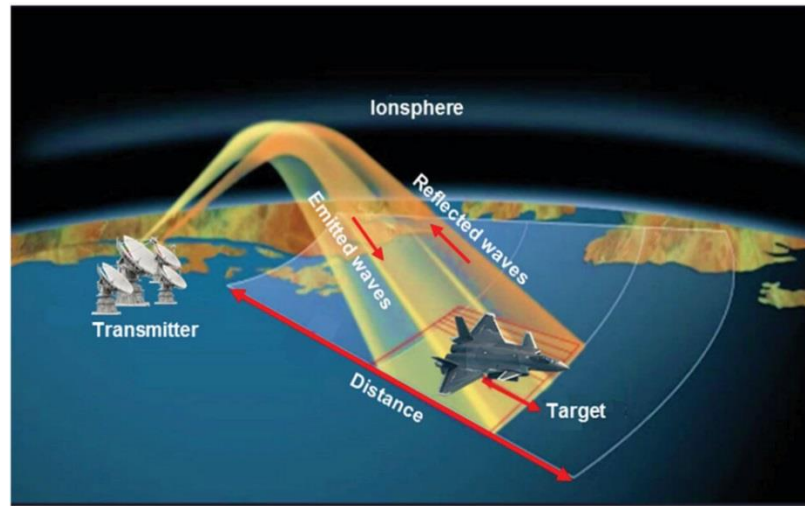
Hədəfin aşkarlanması ilə bağlı vizuallaşdırma amilləri şəkil 2.9. da göstərilmişdir. Radar sisteminin əsas komponenti elektromaqnit dalğalarını nəzərdə tutulan istiqamətlərdə ötürə bilən ötürücüdür [Kumar, R., Durgesh, D. P., Ravinder, K, 2015]. Ötürücüdəki dalğalar boş məkanda hərəkət edir, müşahidə olunan hədəflə qarşılıqlı əlaqədə olur və qəbulediciyə qayıdır. Beləliklə, radar elektromaqnit dalğalarının yaranması ilə hədəfdən əks olunduqdan sonra dalğaların radara qayıtması arasındakı vaxt intervalını ölçür. O, hədəflə radar arasındakı məsafəni aşağıdakı kimi müəyyən etmək üçün radar tənliklərindən (1) və (2) istifadə edir [Hafiz T. H., Ali A., Muhammad, B.Q., 2009].

$$R=CT/2 \quad (2.1)$$

burada R -hədəflə radar arasındakı məsafədir, c -ışığın sürətidir və t -enerji impulsunun hədəfi vurduqdan sonra radardan və geriyyə hərəkət etməsi üçün sərf etdiyi vaxtdır və

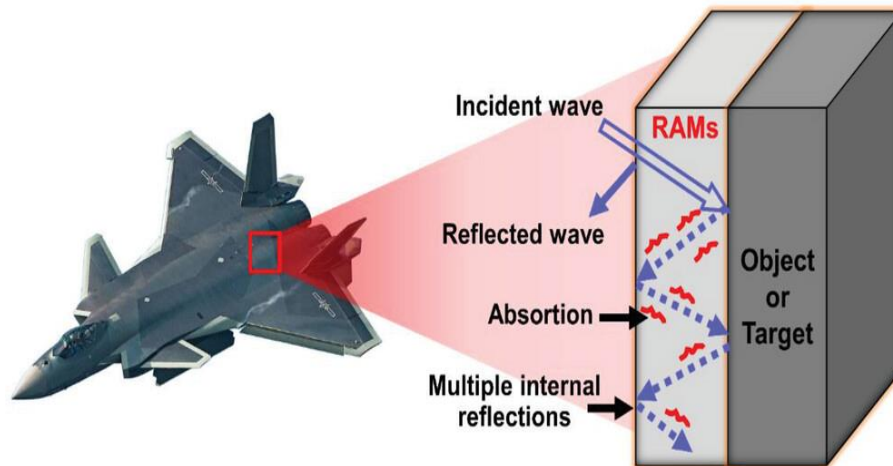
$$P_r=P_t G_t/4\pi r^2 \times \sigma/4\pi r^2 \times A_e \quad (2.2)$$

burada P_r -geri qaytarılan güc, P_t -ötürülən güc, G_t -antenanın qazancı, σ -hədəfin radar kəsişməsi (RCS) (m^2), A_e -qəbul edən antenanın effektiv aperturasıdır. Bütün bu dəyişənlər obyektin aşkarlanmasında istifadə olunur, lakin RCS hədəfin aşkar edilməsində mühüm rol oynayır [Hafiz T. H., Ali A., Muhammad, B.Q., 2009].



Şəkil 2.10. Radarın iş prinsipinin sxematik təsviri

RAM-lar əks olunan dalğaları azaltmaq və ya aradan qaldırmaq üçün aşağıda ətraflı göstərildiyi kimi iki mexanizmdən istifadə edir: materiallar tərəfindən elektromaqnit dalğasının udulması, bununla da dielektrik, rezistiv və/və ya maqnit itkiləri vasitəsilə intensivliyi azaltmaq və nəticədə onu istiliyə çevirmək, enerji və materialın arxa və ön daxili üzlərindən hadisə dalğasının çoxsaylı daxili əksləri Şəkil 2.10 da sxematik şəkildə göstərilmişdir [Hafiz T. H., Ali A., Muhammad, B.Q., 2009].



Şəkil 2.11. RAM tərəfindən elektromaqnit zəifləməsi mexanizmlərini göstərən sxematik diaqram

2.4. PUA-ların radar sistemlərindən yayınmasının başlıca amilləri

Demək olar ki, radarın ixtirasından bəri aşkarlamayı minimuma endirmək üçün müxtəlif üsullara cəhd edilmişdir. İkinci Dünya Müharibəsi illərində radarın sürətli inkişafı dövr ərzində çoxsaylı əks radar tədbirlərinin eyni dərəcədə sürətli inkişafına səbəb oldu, bunun bariz nümunəsi samandan istifadə idi. Müasir üsullara Radar tıxanması və aldatma daxildir. Azaldılmış radar imzalı təyyarələrə istinad edən gizli termini Lockheed Martin F-117 gizli qırıcısının geniş şəkildə tanınması səksəninci illərin sonlarında populyarlaşdı [Kumar, R., Durgesh, D. P., Ravinder, K, 2015]

F-117-nin ilk genişmiqyaslı (və ictimai) istifadəsi 1991-ci ildə Körfəz Müharibəsi zamanı olmuşdur. Bununla belə, F-117A gizli qırıcıları ilk dəfə 1989-cu ildə ABŞ-ın Panama işğalı zamanı Just Cause əməliyyatı zamanı döyüşlərdə istifadə edilmişdir. İlk radar izləmə sistemləri istifadə edildikdə və ən azı 1960-cı illərdən bəri məlumdur ki, təyyarənin forması aşkarlanmada əhəmiyyətli fərq yaradır [Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016].

Aparılan tədqiqatlara baxsaq görə bilərik ki, bu gizlilik ideyası müharibə və mübarizə üçün heçdə yeni deyil. İstifadə olunan gizlilik gizli şəkildə hərəkət edən, aktiv və yaxud davamı olunan bir sistem kimi nəzərə alın bilər. Gözəgörünməz olmaq üçün keyfiyyəti qeyri-səlis, hərəkətin nümayişini, xüsusi olaraq da tanınmadan strateji məsafəni saxlamaq bu xüsusiyyətləri artırır [Integrated review of stealth technology and its role in airpower Published online, 2016]. Hərbi sahədə olan gizlilik, düşmənin öz səlahiyyətlərini xəbərdar etməmək üsullarını tanımaq üçün istifadə oluna bilər ki, buda düşmənin nəzarətindən yayınmağa və düşməyə xəbərsiz şəkildə çatdırılmasına yol açır. Gizliliyin yüksək səviyyədə təmin edilməsi döyüşdəki mövcud olan çatışmazlıqları aradan qaldıraraq strategiyayı heyrləndirir. Gizlilik innovasiyası ümumi və yaxud hərtərəfli ola bilər: “Aşağı səviyyədə müşahidə olunan (LO) gizli innovasiya, onları daha az formada nəzərə çarpan etmək üçün işçi qüvvəni, gəmiləri, təyyarəni, sualtı qayıqları, peykləri və s kimi prosedurları əhatə edə bilər. [Binayak Pattanaik, Aditya Chauhan, 2023]. Sonrakı müddətdə gizlilik innovasiyası daha çox radardan yayınmağa qadir oldu və uçan aparatı ayıra bilmək, birləşdirmək

kimi müxtəlif sensorlu sistemlərlə əlaqəli olduğu sübuta yetirilmişdir [Binayak Pattanaik, Aditya Chauhan, 2023].

2.5. Stels texnologiyalı kompozitləri tətbiq edərək PUA-larda gözəgörünməzliyin artırılması

Radar şüaları elə bir diapazon aralığında işləyir ki, çoxsaylı nanoborular tərəfindən udula bilir. Dünya ölkələrində hal hazırda karbon tərkibli material və örtüklərdən geniş istifadə olunur ki, buda radarın udulmasına gətirib çıxarır və nəticədə kiçik kəsiyə malik radara sahib olduqları görünür. Buna misal olaraq həmin nano boruları təyyarə üzərinə çəkmək, yapışdırmaq ola bilər [Shang.Y., Shen.Z., Xiao, 2013]. Son illərdə Miçiqan Universitetində yeni bir tədqiqatlar aparılmışdır ki, bu zamanda karbon nanoborucuqlarının PUA-larda, dronlarda gizli və eyni zamanda yeni texnologiya kimi faydalı olması müəyyənləşdirilmişdir. Radar udma xüsusiyyətlərindən başqa nanoborular görünən işığı əks etdirmir və səpələmir, bu da onu gecə vaxtı da daha da görünməz edir [Zhang. P Z, Zhang, 2017].

Dəmir top boyalar: Hal hazırki vaxtda çox tanınan və istifadə olunan radar uducu material növlərindən biri də dəmir top boyalarıdır. Bu materialların tərkibində karbonil dəmiri və ferritlə örtülmüş kiçik kürəciklərin olması gələn radar dalğalarının boyada dəyişən bir maqnit sahəsini yaradır. Yaranan maqnit sahəsi də öz növbəsində molekulyar rəqslərə səbəb olur ki, bu zaman yaranan radar enerjisinin istiliyə çevrilməsi halı baş verir. Daha sonra isə istilik təyyarə daxilinə ötürülərək dağılır. Boya tərkibində olan dəmir hissələri dəmir pentakarbonilin parçalanması nəticəsində əldə olunur ki, bu zamanda karbon, oksigen və azot izləri izləne bilir. Karbonil dəmiri və ferrit toplarını xüsusi olaraq bir proses vasitəsilə silikon dioksidlə örtürlər. Sonrasında isə lövhələrin istehsalı zamanı karbonil dəmir toplarında maqnit sahəsi yaratmaq üçün müəyyən bir məsafədən bura maqnit sahəsi tətbiq olunur. Nəticədə boyanın zərrəciklərini öz maqnit təsirində saxlayan maqnit sahəsi ilə əhatələnmiş olur. Bu boyada əsas mexanizim karbonil dəmir və ferrit toplarının material daxilində

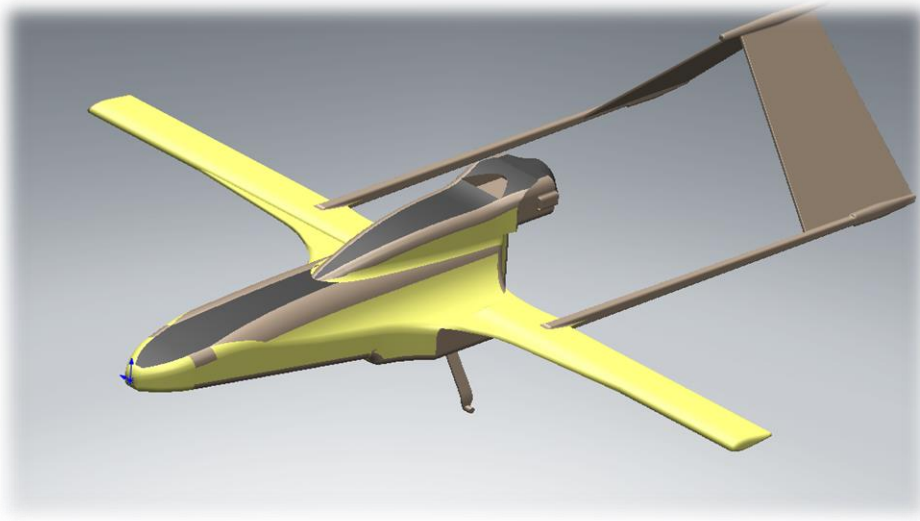
maksimum bərabər şəkildə paylanmasını təmin etməkdən ibarətdir. Bu proses zamanı radar udma xassəsi daha da yüksəlmiş olur [Zhang, P. Z, Zhang, 2017].

Radar uducu köpüklər: Radar uducu köpüklərdən elektromaqnit şüalanmanı ölçmək və termal kameraların üzlənməsi kimi istifadə olunur. Bu materialın tərkibi adətən 0,05%-0,1% nisbət aralığında karbon, qara karbonil dəmir hissəciklər və yaxud kristal qrafit hissəcikləri ilə doldurulmuş odadavamlı poliuretan köpükdən ibarətdir. B vaxt, Bu tərkibdən istifadə zamanı səs küy və əks-sədaları daha da azalmış olur. Piramida strukturuna malik bu material əsasən yuxarıdan aşağıya qədər geniş diapazonlu uducu axtarıldığında gözlənilən ən aşağı tezlik əsasında seçilmiş olur. Tətbiq olunma sahəsinə görə dəyişərək hərbi məqsədlərdə aşağı tezlikli amortizasiya üçün bu məsafə 60 sm, yüksək tezlikli panellərdə isə 7,5-10 sm-ə qədər qısalarq dəyişə bilər [Shang, Y., Shen. Z., Xiao, 2013].

FƏSİL III. STELS TEXNOLOGİYALI KOMPOZİT MATERİALLARININ PUA-LARA EFEKTİV TƏSİRİNİN ARAŞDIRILMASI

3.1. Karbon tərkibli materialların stels texnologiyasında rolu

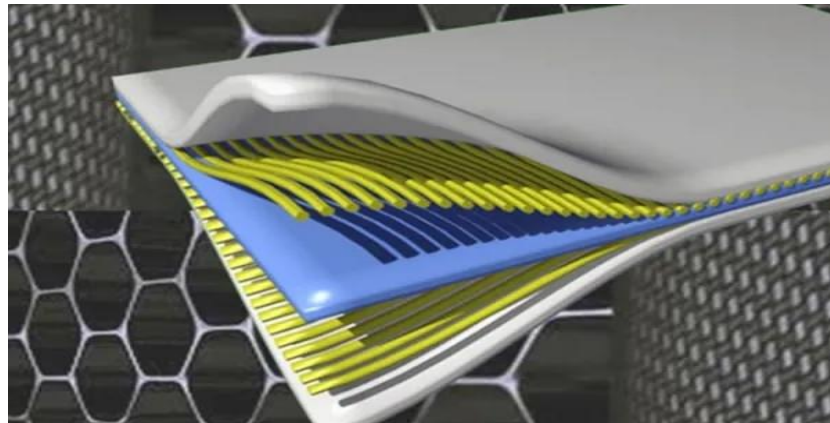
Yüksək keçiricilik, aşağı sıxlıq, korroziyaya dözümlülük və əla radio udma qabiliyyətinə malik olmaları karbon tərkibli materialların hərbi sənayedə tətbiqinə kömək etdi [Honghui, C. W., Zhiyu, H., 2019]. Karbon lifli NP-lər və CNT-lər yaxşı spesifik səthə, istilik keçiriciliyinə, unikal mexaniki xassələrə və daxilində elektronların hərəkətliliyi kimi heyranedici xüsusiyyətlərə malik olduğundan effektiv nanokompozit hesab edilir [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. CNF-lərə birləşdirilən CNT-lər, ferrit-oksüd nanohissəcikləri (Fe_3O_4), kobalt-dəmir tetroksid nanohissəcikləri ($CoFe_2O_4$) və nikel-kobalt antioksidantları daxil olmaqla nanoliflərdən ibarət müasir növ bir kompozit hazırlandı.



**Şəkil 3.1. Bayraktar TB2 PUA-sı Solidworks proqramında çəkilərək örtük
hissələri göstərilmişdir**

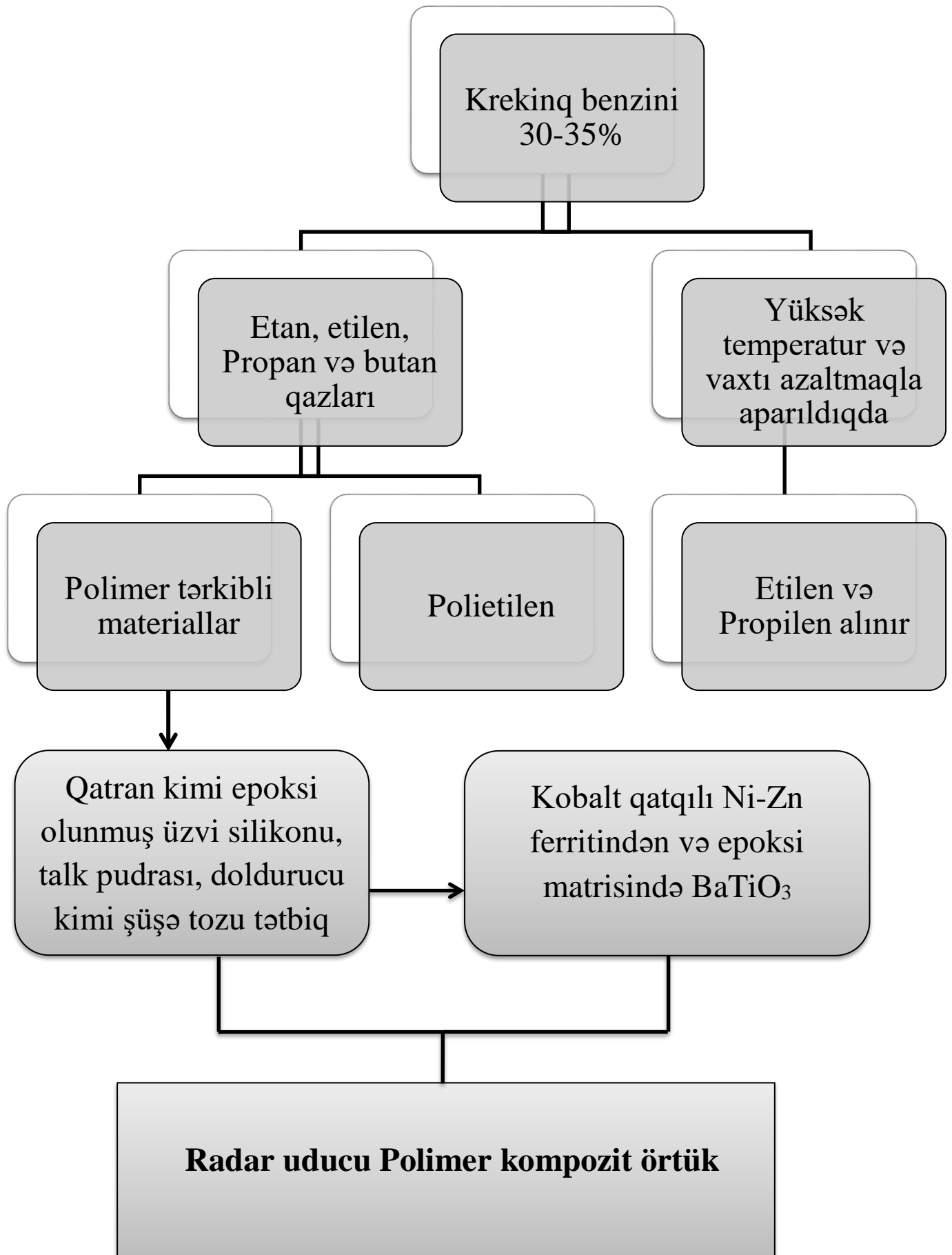
Aralarda ki əlaqə itkisinin azalması nümunənin elektriklənmə kimi xüsusiyyətlərini artırmağa və nəticədə də nümunə içərisində metal kəşimələrini yaradaraq udma sahəsinin tələblərinə cavab verməkdə effektiv olmuşdür [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Tərkibi azaldılmış qrafen oksidi və maqnit hissəcikləri ilə birləşdirilən məsaməli sturuktura malik radar uducu kompozit materiallarını yaratmaq üçün elektrospining və

kolsinasiya üsullarından istifadə olunur. Araşdırmalar zamanı belə qənaətə gəlinmişdir ki, karbon tərkibli uducular kobalt NP-lərin maqnitləşməsini və koersivliyini azaldıqda, yeni əmələ gəlmiş materialında maqnit keçiriciliyi azalmış olur. Bundan əlavə olaraq, içi boşaldılmış lifli nümunələri istehsal etdiyimiz zaman kimyəvi emal və sürətli uducuların karbonlaşması üsullarından istifadə olunur. Şüa udan materiallar yaxşı maqnit və dielektrik xassələrinə, geniş tezlikli diapazon aralığına unikal udma qabiliyyətinə malikdir. Nəticədə də alınan konstruksiyalar radar udma uyğunluğuna, rahat atmosfərə və hazırlanan kompozitin keçiriciliyinə əsaslanır [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Təhlil olunan ədəbiyyatlardan belə nəticəyə gəlinir ki, bir neçə EMW-lar arasında çoxsaylı radar udma tezlik diapazonlarında, istilik mübadiləsində, kütlənin yüngüllüyündə və antioksidləşmə zamanı nəticəni yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə EMW udmaya əsaslanan karbon tərkibli materialların inkişaf etməsinə diqqət yetirilir. [Muhammad Shafiq Riaz, Hafiz T. Haider, 2019].



Şəkil 3.2. Laylı sturukturlu kompozit material

C-RAM MT: Doldurucuları karbondan ibarət olan elastik məsaməli sturuktura malik geniş diapazonlu itkilərə malik radar uduculardır. Onları doldurmaqla geniş çeşidli dielektrikdə itkilər əldə olunur. Genişlənmiş həcmi aradan qaldırmaq səbəbi ilə müxtəlif rezonanslar, səthi elektiriklənmə, RF emissiyası, komponentlər arasındakı izolyasiyanın olması və sızmaların qabağın alınması məqsədi ilə istifadə edilən qarışıqlardır [Li, G. Zhang, X. Bai., 2008].



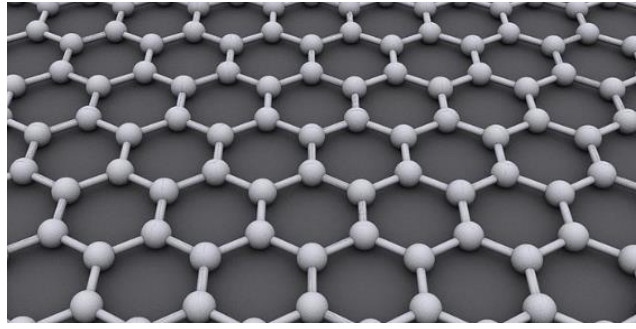
Sxem 3.1. Radar uducu kompozit köpüklərin alınma sxemi



Şəkil 3.3. Karbon tərkibli kompozit material

Araşdırmalar zamanı nümunələr sərbəst zonada əks olunmanın azalmasına, istifadə olunmasına yol açır. Alınan material neopren yapışdırıcısı istifadə edilərək tətbiq olunur. Effektiv nəticələr əldə olunması məqsədi ilə yapışdırıcı bazaya tətbiq edilərək azı 1saat qurunmasına icazə verilir [Николайчук Г.А., Петров В.В., Яковлев С.В., 2009]. Daha bir üsulla isə hazırlanmış lövhələrin arxa üzünü yapışqana batırılır, adətən 2-3 dəqiqə ərzində qurunmasına icazə verilir və sonra material gövdəyə möhkəm şəkildə basılır. Yapışdırıcı kim isə N200S odadözümlü yapışqan istifadəsi daha effektivdir [Николайчук Г.А., Петров В.В., Яковлев С.В., 2009].

Qrafen. Karbon tərkibli materiallardan biri də qrafendir ki, fərqli fəvqəladə xassələrə malikdir. Bu material laylı və məsaməli sturuktura bənzəyir. Bir biri ilə əlaqəli tərkib ikili xassələrə, spesifik səth sahəsinə, istilik keçiriciliyinə, güclü kimyəvi dözümlülüyə və elektrik keçiriciliyi kimi özünəməxsus xüsusiyyətləri özündə birləşdirir [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Qrafen tərkibinə malik materiallar elektromaqnit dalğaları yaxşı formada həll edir və onların udma xüsusiyyətlərini artırır. Misal olaraq qrafen əsaslı RAM-lar, monolitik 3D qrafen, qrafen-dielektrik heterostrukturlar və qrafen-dielektrik çoxheterostrukturlarını göstərə bilərik [Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, 2018].



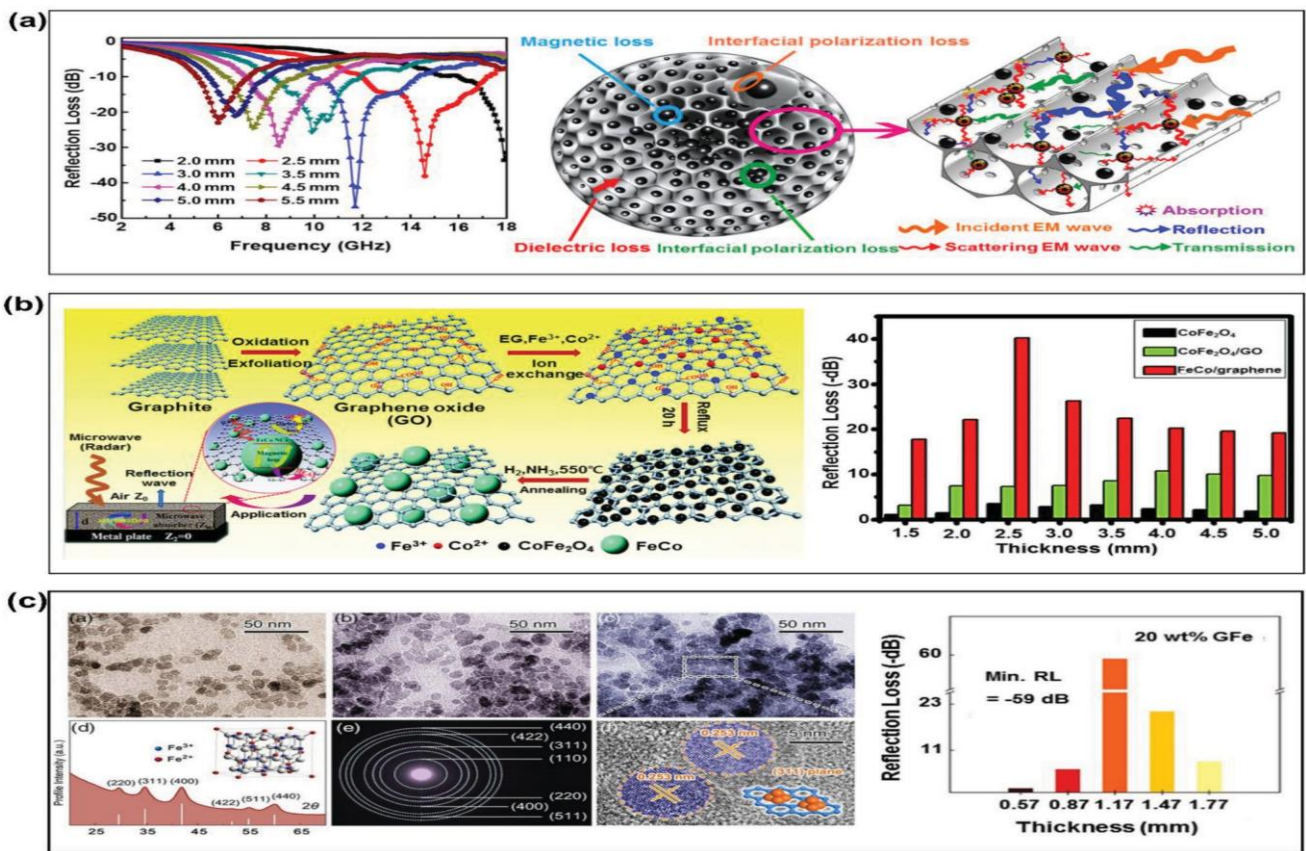
Şəkil 3.4.Qrafen

Qeyd etdik ki, qrafen unikal struktura, yaxşı elektrik xüsusiyyətlərinə malikdir. Amma bunun yanaşı mənfi xüsusiyyətidə var ki, tərkibinə çox qatqılar qatılan zaman malik olduğu xassələri itirir. Mane kimi yığılmış qrafen dağıdıcı aqreqasiyaya səbəb ola bilir ki, nəticədə də lazımı xassələri tam şəkildə həyata keçirmək mümkün olmur. Son illərdə monolit istehsal olunması istiqamətində əhəmiyyətli dərəcədə tədqiqatlar aparılaraq bir-biri ilə sıx bağlanmış qrafenlər öz xüsusiyyətlərini qoruyaraq tək struktura malik qrafen kimi yaxşı xassələr nümayişləndirmişdir. Təhlillər zamanı monolit 3D qrafen köpüyünün radar uducu xüsusiyyətlərinin (GF) tezlik diapazon aralığı 2,0-18,0 GHz qiymətində dəyişir[Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, 2018]. Bundan əlavə olaraq qalınlığı 10 mm olan və maddə oksid məhlulundan əldə olunan kiçik partiyalarla 400°, 600° və ya 800°C temperaturlarda 13,1 GHz tezlikli radarı uda biləcək nümunələr hazırlandı[Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013].

Ferrium-kobalt qarışığı olan qrafendə qrafenin miqdarı 20%-ə qədər təşkil edir ki, buda 10,8 GHz diapozon da olan şüaları uda bilir. Nümunələrdə radar dalğalarını yaxşı zəiflətmə qabiliyyətinə malik olduğu mövqe səpilmə bucağı 0-60° arasında olduğu müddətdir. Tədqiqatlar zamanı daxil edilən maqnit hissəciklərinin qrafenə doldurulması təklif olunmuşdur ki, burada Cu-S qarışığının böyük rolu var[Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, 2018]. Bu zamanı radar şüalarının udulma xüsusiyyətləri, qarışıqlar arasında ion polarlaşma və fazalararası qütbləşməsi yaxşılaşır. Hazırlanan kompozit təbəqələrin maksimum 2,0-8,0 GHz tezlik diapazonunda və qalınlığı 0,45 mm olması təsdiq edilmişdir. Şəkil 3.4.də biz qrafen

qarışıqlı materialını görə bilərik. Burada tezlik aralığı 18.0 GHz hazırlanmış birləşmiş mövqələr sərgilənir ki, bunlarda maksimum 11.4 GHz diapazonda 2,5 mm qalınlığında olan təbəqələrdir. Qrafen-dəmir istehsalı haqqında danışdığımız zaman isə (II/III) oksid-polianilin (qrafen/ Fe_3O_4) kompozit qarışığının hidrotermal üsuldən istifadə olunaraq istehsalını deyə bilərik. Şəkil 3.5 b-də göstəriləyi kimi, Hazırlanmış kompozitlər tezlik diapazonu 2,0-8,0 GHz, qalınlığı 0,45 mm-dir.

Bu görkəmli cavab yaxşı empedansa aid edildi uyğunluq arasında keçiricilik və keçiricilik dəyərlərə malikdir[Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, 2018]



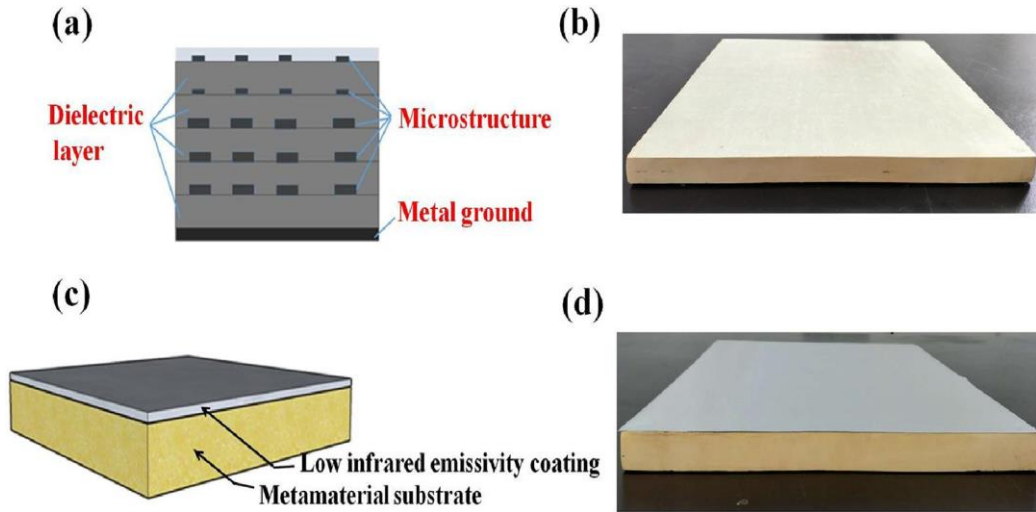
Şəkil 3.5. Qrafen əsaslı RAM-ların mikrodalğalı udma xüsusiyyətləri: a) hesablanmış RL əyriləri (solda) və mikrodalğalı udma mexanizmi (sağda) 3D-GLN/ Fe_3O_4 kompozitlər, b) sxematik sintez (solda) və hesablanmış RL dəyərləri (sağda) FeCo/Qrafen kompozitləridi

Al əsaslı infraqırmızı örtüklər. Meta material əsaslı uducular infraqırmızı şüalardan qorunmaq məqsədi ilə infraqırmızı emissiyalı poliuretan(PU)-alüminium (Al) tərkibli kompozit örtüklərdən uğurla istifadə olunurdu. Al hissəciklərinin axıcılıq

sürətinin infraqırmızı şüalanma təsirləri zamanı metamaterial əsaslı EM radar uducularla uyğunluq xüsusiyyətləri dəqiq formada tədqiq edilmişdir. Bu zaman infraqırmızı şüadan gələn emissiya dəyəri təxminən 14 mm dalğa uzunluğuna malik IR-2 infraqırmızı emissometrədən istifadə edilərək ölçülməsi aparılır. Al tozlarının bərpası zamanı axıcılıq sürəti infraqırmızı alüminium-poliyeten örtüklü metamaterial əsaslı EM uducular aşağı emissiya ilə yanaşı olaraq, eyni zamanda yüksək səviyyədə elektromaqnit dalğalarını udma xüsusiyyətlərini malik olduğunu göstərir. Nəticədə görə bilərik ki, bu polietilm-alüminium əsaslı örtülmədən sonra detalların səthində infraqırmızı emissiya şüaları kəskin şəkildə azalaraq radar udma performansını yüksəltmişdir [Mauro, A. A., Rafael, J. P., 2007, Anna, K., 2018].

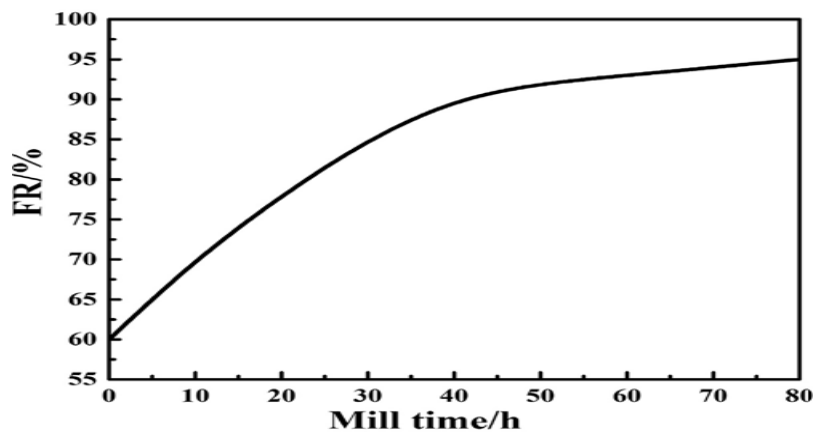
Son zamanlarda Al tərkibli radar uducu örtüklər B-2 və F117 kimi təyyarələrdə radio absorbent materiallar və hərbi məqsədlər üçün isə daha çox tətbiqi məqsədə uyğundur. Metal doldurucular Cu və Al pigmentlərdən təşkil olunmuşdur ki, buda daha aşağı infraqırmızı emissiyaya və radar udma xüsusiyyətlərinə malikdir. Qarışıqların arasında alüminium lopalarının üstünlük təşkil etməyi iqtisadi cəhətdən çox əlverişlidir hansı ki, ölkəmizdə alüminium yataqları üstünlük təşkil edir. [Anna Kolanowska, 2018]. Müxtəlif axıcılıqlara malik Al hissəcikləri əla performanslı frezələmə texnikası ilə üyüdülməklə hazırlanır. Prosedur vaxtı 5 q Al tozu, 50 q ZrO₂ və 0,5 q SA götürülərək, fırlanma sürəti 200 dövr/dəq olan frezədə üyüdülməklə. Proses 10-80 saat müddətində aparılaraq hazırlanan Al tozları yuyulur və 6 saat ərzində 60°C-də vakuum sobasında yaxşı qurudulur. Nəticədə, Al tozlarının ibarət olan bir nanohissəciklərlə zəngin səth sahəsi əldə olunur. Şəkil 3.6 (a) və (b)-də qurulduğu kimi, alınan lövhələr dielektrikli səthdən, bəzəkli səthdən və torpaq tərkibli səthlərdən əmələ gəlir [Park K.Y., Lee S.E., Kim C.G., Han J.H, 2006]. Kompozit lövhələrin ölçülərinə gəldikdə uzunluq-30 sm, en-30 sm və qalınlığı 17 mm təşkil edir. Nümunələr otaq temperaturunda olan etil spirtində və distillə olunmuş su ilə təmizlənir. Daha sonra lazımi şəkildə Al tozlardan ibarət olan infraqırmızı örtüklər səpilir. Bu prosesdən dərhal sonra davamlı olaraq dörd fərqli axıcılığa malik Al

tozlarını sabit yükədə (belə ki, 10%, 20%, 30% çəki faizi ilə), yükləyərək quruducu maddələr əlavə olunur [Mauro, A. A., Rafael J. P., 2007., Anna K., 2018].



Şəkil 3.6 (a) Metamaterial əsaslı EM absorberinin struktur diaqramı; (b) metamaterial əsaslı EM absorberin şəkli; (c) aşağı emissiyalı örtük sistemi olan metamaterialın model diaqramı; (d) aşağı emissiyalı örtüklü metamaterial əsaslı EM absorberin şəkli

Al tozlarında frezelemə zamanı müddət və axıcılığı arasında olan əlaqəyə baxsaq şəkil 3.6-da da görünüyümüz kimi Al tozlarında müddət və axıcılıq sürəti (FR) istifadə edilir. Şəkildən görüldüyü kimi, frezeleme zamanı artdıqca Al tozunun axıcılıq sürəti də bir qayda olaraq artır. Frezeləmənin əvvəlində FR-in sürəti yüksəlir, lakin frezelemə vaxtı azalır və nəhayət sonda sifra enir [Ren.W, N., Y., Xiong.X, Zhang,C. Z., 2012].



Şəkil 3.7. Frezelemə vaxtı ilə Al tozlarının üzən sürəti arasında əlaqə diaqramı

Fərqli axıcılığa malik kompozit nümunələrdə Al hissələrin təhlilini aparmaq üçün qrafikin qurulması əhəmiyyətli

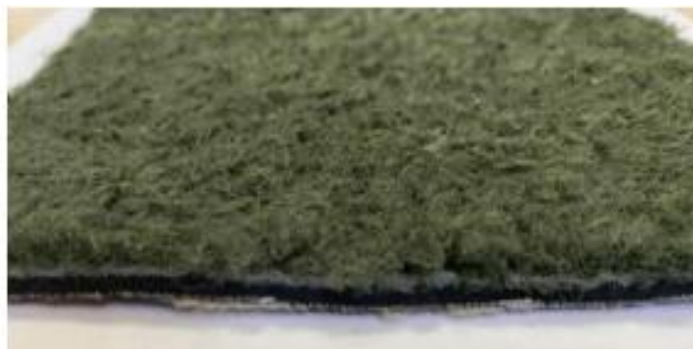
tdir və bu şəkil 3.7-də yaradılmışdır. Burada ağ hissə dənəcikləri, qaranlıq hissə isə Al hissəcikləri arasındakı bağlayıcılardır. Al zərrəciklərinin axma sürəti frezeleme vaxtını yaxşılaşdırmaqla yaxşılaşır və Al tozlarının ölçüsü, qalınlığı da bir o qədər azalmış olur[Bora, P. J., Azeem, I., Vinoy, K.,2018]. Daha da əhəmiyyətli olan ibarətdir ki, eyni doldurucu yükün 10% olması, axıcılıq sürətin artırılması ilə nəticələnir və Al doldurucu pigmentinin idarə edilməsi sahəsində daha böyük oynayır. Bu zamanda doldurucunun tutduğu sahə getdikcə artmış olur. Bu halda, Al hissəcikləri daha sıx düzülür və əlaqələr arası boşluq daha kiçik olur[Dedov A.V., Nazarov V.G, 2016].

Hibrid kompozitlər: Aparılan ilk tədqiqat işi zamanı NiZn ferrit və NiCuZn ferritili epoksid matrisasına 17%-ə qədər nanohissəcikləri əlavə olunub və dalğa ötürücülü qəlibə tökülmüşdür. Elektromaqnit cihazlarının, elektrik mühərriklərinin tezlik diapazonlarını və eyni zamanda səmərəliliyini artırmaq üçün dəmir tozulu ferromaqnit hissəcikləri sənayedə geniş tətbiq olunur[Dedov A.V., Nazarov V.G, 2016]. Yumşaq ferritlərin xələrinə baxsaq görərik ki, gərginliyi aradan qaldırmaq üçün tətbiq olunan yüksək temperaturlara tab gətirə bilir və maqnitli sahəyə təsir göstərərək burulğan cərəyanının qatqılarını xeyli azaldır. Bu prosesi bir qayda olaraq presləmə və toz metallurgiya üsullarından istifadə edərək 5%-li dəmir tozundan və 10-15%-li NiZnCu-ferritindən götürərək örtük materialının effektivliyini artırırırlar [Əfəndiyev Y.Z, Mustafazadə N.X, Fərzəliyev A.X, 2022]. Örtüyün miqdarı artdıqca burada müqavimət və məsaməlikdə aşkar olunur eyni zamanda isə sıxlıq, keçiricilik və maqnit doyma kimi xüsusiyyətlər azalmış olur. Təhlil olunan hibrid materialın üstün cəhətlərinə baxsaq.

- NiZnCu ferrit qarışığı əsasən dəmir tozuna tətbiq olunur
- Maqnit keçiricilik xassələri, azaldılmış cərəyanı və maqnit axını və sıxlığı alınan örtüyün çəki nisbəti ilə tərs asılıdır

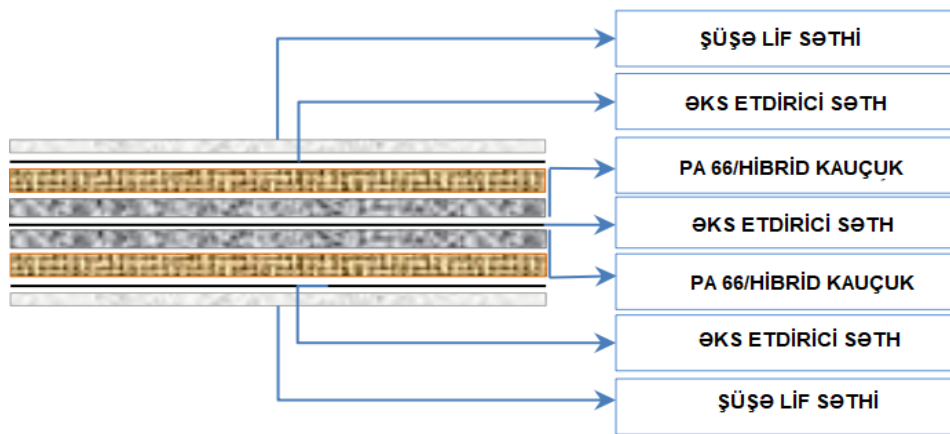
- 700-1000°C aralığında aşağı koersivlik və yüksək maqnit doyması baş verir[Əfəndiyev Y.Z, Mustafazadə N.X, Fərzəliyev A.X, 2022].

Bu kompozit qarışıqlar 1000 Hz ilə məhdudlaşan silisium-ferrium, ferromaqnit ərintiləri və 30 MHz ilə məhdudlaşan yumşaq ferrit nüvələri arasında əlaqə yaratmaq gücünə malikdirlər[Əfəndiyev Y.Z, Mustafazadə N.X, Fərzəliyev A.X, 2022]. Bu hibrid qarışıqlarda bir hissə yaxşı maqnit induksiyasına, digəri isə yüksək elektrik müqavimətinə malikdir. Buda öz növbəsində lövhələrin birləşdirilməsi vaxtı nüvə itkisini və maqnit performansını yüksəltmiş olur. SMC lövhələrinin tətbiqinə baxsaq elektrik mühərrikləri, nasos eksenel, radial axın maşınlarının komponentlərin kimi stator hissələrində toz metallurjiyası üsulları ilə hazırlanaraq istifadəyə verildiyini görə bilərik[Əfəndiyev Y.Z, Mustafazadə N.X, Fərzəliyev A.X, 2022]. Sözü gedən hibrid qarışıqlar cərəyanlarla işləyə bilən daha aşağı itkilərə səbəb olur, burada cərəyan dəyişikliyi materialda nə qədər burulğan cərəyanı itkisinə dözə biləcəyi ilə əlaqəlidir. X diapazonu aralığında NiZn-ferritlə gücləndirilmiş kompozitlərin əksətdirmə itkisi (RL) maksimum olaraq 11,7 GHz-ə qədər azalır. Bununla belə, NiCuZn ferriti ilə gücləndirilmiş kompozitlər müəyyən qiymət aralığında zəif udma performansını göstərir[Honghui Chen, Wenle Ma, Zhiyu Huang, Yi Zhang, Yi Huang, 2019]. Müxtəlif tədqiqatlar zamanı yeni nəsil texnologiyalarla hazırlanan hibrid əsaslı kompozit materiallar təklif kimi verilmişdir. Radar uducu material hazır formada gəlir və üzərinə nitril kauçuku, xüsusi əks etdirən nikel üzlüklü lif və şüşə lifli tərkibli polipropilen təbəqədən ibarət bir səth çəkilir. [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Materialın şəkili şəkil 3.8-də göstərilir. Ümumi qalınlığı $6,2 \pm 0,2$ mm olan radar uducu lövhə təbəqəsinin kompozit strukturunun isə ümumi qalınlığı $5,7 \pm 0,3$ mm-dir və ən xarici təbəqəsi şüşə lifdən,



Şəkil 3.8. Radar uducu material

elastomerdən, PA6 keçiricisindən və qarışıq dolu elastomerdən ibarətdir [Honghui Chen, Wenle Ma, Zhiyu Huang, Yi Zhang, Yi Huang, 2019]. Materialların düzülüşündə istiqamətin heç bir əhəmiyyəti qalmır çünki simmetrik formada yığılır. Belə ki, H-RGC qatlı kompozit uducu materialın şəkilli 3.9-da göstərilir. Alınan kompozit lövhələr 200 tonluq hidravlik presləmə maşınında qəliblənərək daha sonra 180°C-də 22 dəqiqə müddətində bərkitmə prosesi aparılır [P.Balaji Ananth., Abhiram.K, Hari Krişna, 2021].



Şəkil 3.9. Radar uducu kompozit materialının strukturu

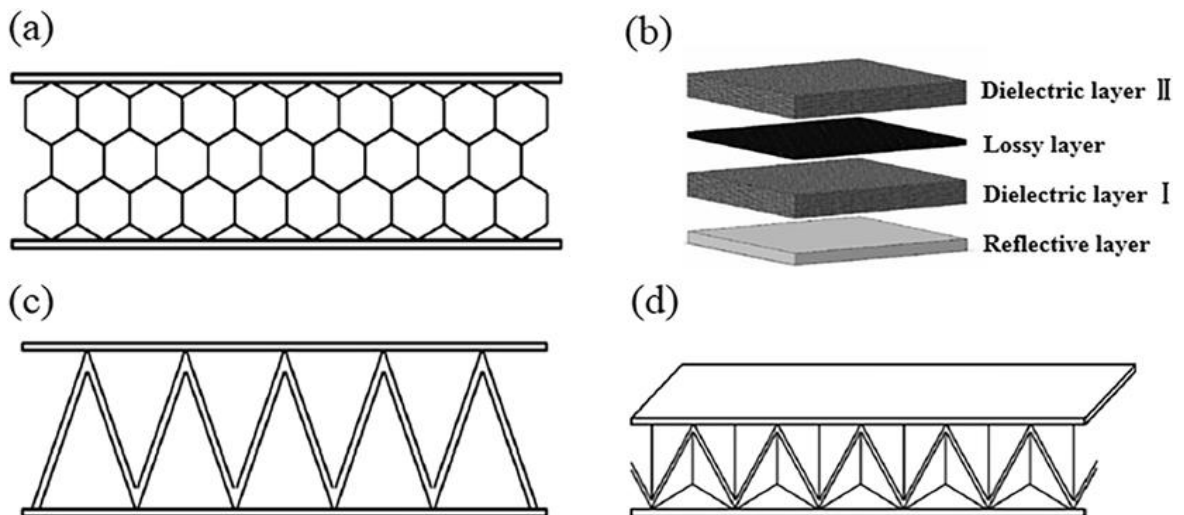
Vulkanlaşdırılan lövhələr qəlibdən çıxarılan kimi üzərində olan artıqlardan təmizlənir və $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ də $50\%\pm 5\%$ nisbi rütubət şəraitində 24 saat müddətində istifadəyə hazırlanır. Hazırlanan materialın üst səthinin görüntüsünü şəkil 3.10-da görə bilərik [Николайчук, Г.А., Петров, В.В., Яковлев, С.В., Луцев, Л.В., 2019].



Şəkil 3.10. Radar uducu kompozit parça

3.2. Radar uducu polimer örtüklərin tərkibinin araşdırılması

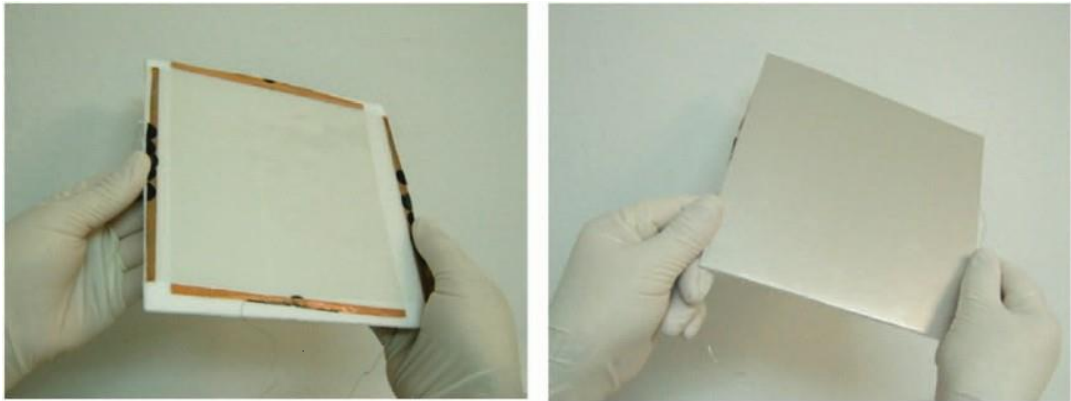
Odadavamlı şüa uducu polimer örtük yaratmaq üçün modifikasiya olunmuş üzvi silikondan, talk pudrasından, doldurucu kimi isə şüşə tozundan geniş şəkildə istifadə edilir. 10 dəqiqə müddətində 600°C də elektromaqnit xassələri, eləcə də mexaniki xassələri öyrənilərək məlum olmuşdur ki, örtüyün mexaniki xassələrində xeyli yüksəlmə olub amma EM xassələrində dəyişiklik baş verməmişdir [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Bu səth qatından yüksək temperaturlarda 10 dəqiqə ərzində istifadə oluna bilər. Sonrakı araşdırmalar zamanı kobalt qatqılı Ni-Zn ferritlərindən və doldurucu kimi barium titanatın nanohissəciklərindən istifadə olunaraq termal cəhətdən daha sabit nanokompozitlər hazırlanır. Buradakı nanohissəciklər çökdürmə və hidrotermal üsulla sintez olunur [Николайчук Г.А., Петров В.В., Яковлев С.В., Луцев Л.В, 2019]. Tədqiqat aralığı əsasən X diapazonunda aparılırdı və BaTiO_3 qarışığında birləşmələr 2 mm qalınlığında, təxminən 11,81 GHz-dək mikrodalğaları uda bilməsi müşahidə olunurdu. Ayrılan və təhlili aparılmış ədəbiyyatlardan belə qənaətə gəlinir ki, BaTiO_3 konsentrasiyasını və araqat qalınlığını dəyişməklə daha yüngül absorberlərin alınması zamanı elektromaqnit xassələrini yaxşılaşdırmaq olar.



Şəkil 3.11. Sxematik diaqram (a) pətək struktur; (b) mərtəbə boşqab struktur; (c) büzməli boşqab; (d) piramida sendviç strukturu matrisdə

Radar gizliliyi üçün örtük: Radardan qorunmaq məqsədi ilə hazırlanan infraqırmızı örtüyün alınma prosesinə nəzər yetirsək aşağıdakılara şahid olmuş olarıq: 66-72qr

qatrandan ibarət yapışdırıcı, 28-34qr alüminium tozu, 8-24qr Zn pigmentləri və doldurucuları bərabər formada qarışdırılaraq məhlul halına gətirilir. Əvvəlcədən yapışdırıcı hazırlamaq üçün isə 20qr miqdarında rəngli boya, xırdalanmış məhlulun hissəcikləri və 13-18 GHz intervalda sabit saxlamaq üçün həlledici və bərkidici maddə əlavə olunaraq radar gizliliyinə uyğun bir infraqırmızı örtük almış oluruq[Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, 2018]. Örtük əldə olunandan sonrakı proses isə radar udan materialın xaricinə radar gizliliyindən qorunmaq üçün infraqırmızı örtüyü püskürdərək örtük səthinin qurudulmasına icazə verilməlidir. Alınan bu infraqırmızı örtük müxtəlif radardan gizlənən materiallar üçün uyğundur. Həmşinin bu örtük iqtisadi cəhətdən də çox səmərəlidir və əla performans göstərə bilir[Mengyu,S., Chen, X., Zhihong, Y., 2018].



Şəkil 3.12. Alüminium təbəqələrdən ibarət radar uducu təbəqələr

Örtüyü alandan sonra onun səthinin qurudulması prosesi də vacib amillərdəndir. Bu zaman örtüyün xarici səthinə 12 saat müddətindən artıq qurutmaq və yaxud örtüyü 60-80°C temperatur intervalında 2-4 saata kimi bişirmək önəmlidir. Hazırlamassa zamanı qatran yapışdırıcısından, poliuretandan, flüororezindən, epoksi ilə dəyişdirilmiş silikon qatranı və flüorlaşmış poliuretan birləşmələrindən istifadə olunur[Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013].. Hazırlanma prosesində rəng kimi mavi, yaşıl, sarı və ya qara rəngli pastalar tətbiq edilir. İstifadə etdiyimiz kompozit örtük infraqırmızı gizliliyin uzun zaman ərzində radar gizliliyi ilə uyğunlaşmaması problemini həll edir və radar dalğalarını udma örtüyü ilə metamaterial dalğa uducu materialın infraqırmızı gizli performans uyğunluğunu həyata keçirir. Uyğun Bir

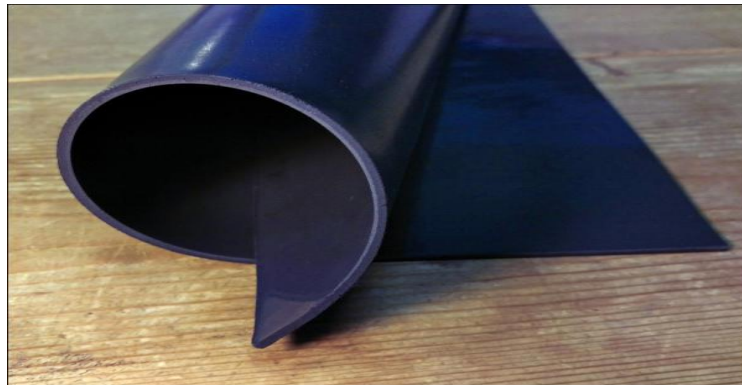
qayda olaraq infraqırmızı emissiyalı örtüyün qalınlığı 35 mm-dən az, infraqırmızı emissiyası 8-14 mm-dən az və örtük 2-18 GHz radar dalğalarında orta əks etdirmə qabiliyyətindən az və yaxud bərabərdir [Mauro A. Alves, Rafael J. Port, Mirabel C. Rezende, 2018].

3.3. Yeni növ kompozit tərkibli boyalarla səthin örtülərək radar izindən qorunması

Pilotsuz uçuş aparatlarının konstruktiv hissələri, müxtəlif növ konsentrasiyalara malik nanoboyalarla örtülür. Çünki bu cür nanoboyalar kəşfiyyat aparılması məqsədilə stels texnologiyası üzrə görünməzlik prinsipini həyata keçirirlər. Bu cür boyanın tətbiqi radara düşmə ehtimalını qisməndə olsa minimuma endirir [Bora, P. J., Azeem, I., Vinoy, K. J. And Ramamurthy, 2018].

3.4. MAS-200, MAS-300 və MF-500 nanoboyalarının tərkibi

MAS-200 seriyalı radar uducu boyası 0,9-16,0 Ghz intervalında olan tezliklər üçün mövcud olan nazik və çevik uducu lövhələrdən ibarətdir. Poliuretan (MAS-210) və ya silikon tərkibli MAS-220 qatranlarından hazırlanaraq, xüsusi maqnit aktiv doldurucularla yüklənir.



Şəkil 3.13. MAS-200 nanoboyası

MAS-300 seriyası, maksimum xidmət temperaturu diapazonu üçün əla mexaniki və yapışdırıcı xassələrə malik poliuretandan (MAS-310) və ya silikondan (MAS-320) hazırlanmış çox nazik təbəqə formasında mikrodalğalı radar uduculardır. özü gedən boyalar rulon formatında istehsal olunur ki, buda onların lazımı qədərdə kəsilərək tətbiq olunmasında üstnlük kimi hesab edilir[Lutsev L.V., Yakovlev S.V., Zvonareva T.K., Alexeyev A.G.,2005].



Şəkil 3.14. MAS-300 nanoboyası



Şəkil 3.15. MAS-400 nanoboyası

MF-400 seriyadan olan boya isə karbonil dəmir tozundan(MF-400 Tip C), dəmir silisiddən (MF-401 Tip S) və dəmir xrom silisiddən ibarətdir ki, (MF-402 Tip CR)

bunlarda dalğanı zəiflətməsini təmin edən birləşdirilən və ya xırdalana bilən uducu tozlardır[Lutsev L.V., Yakovlev S.V., Zvonareva T.K., Alexeyev A.G.,2005].

MF-500 Poliuretan. MF-500 Poliuretan geniş zolaqlı RAM örtüyü ilə örtülən karbonil dəmirdən və uretan akril qatranında ibarət nanoboyadır.Nanaoboya davamlı aşınmaya təsir qalsada güclüdür eyni zamanda isti və soyuq mühitlərdə sabitliyini qoruyur[Луцев, Л.В., Николайчук, Г.А., Петров, В.В., Яковлев, С.В,2008].



Şəkil 3.16. MF-500 nanoboyası

Məhsulu tətbiq etdiyimiz vaxtı fırça və ya da püskürtücüdən istifadə olunur ki buda onun tətbiq sahəsinə görə dəyişir. Dəmir silisidin əvəzinə karbonil dəmir istifadə edilmiş və nəmişliyə davamlı MF-501 boyası da mövcuddur.

Həmçinin MF-510 epoksi və MF-520 silikon boyalarının da tətbiq sahələrinə nəzər yetirək[Silva V.A., Folgueras L.C., Cândido G.M., Paula A., Rezende M.C,2013].

Tətbiqləri:

- Minimallaşdırılmış radio uducular analoq və rəqəmsal tətbiqlərdə
- Hərəkətli antenna adanlıqlarında
- Azaldılması səs-küy üçün uducu siqnallarda
- Antennalar və mikrodalğalı komponentlərdə
- Avadanlıqların örtünməyində və gizliliyində

Cədvəl 3.1 MF-500 nanoboyasının xüsusiyyətləri

Xüsusiyyətləri	
Qalınlıq:	Nominal hər qat üçün 2-8,0 mil (tətbiq asılı olaraq)
Rəng:	Kömür Boz
Quru Çəki:	12 "x 12" (30 sm x 30 sm) sahə üçün 6,36 gm/mil Müqavimət: yangın, aşınma, UV, duz və korroziya
Əhatə dairəsi:	Nominal 200 ft ² /gal (3,8 l)
İzolyasiya:	Nominal -12 dB başına mil
İstifadə müddəti:	İstehsal tarixindən bir il (məhsul sifarişlə hazırlanır)

3.5. Stels texnologiyasında istifadə olunan kompozitlərin fiziki və mexaniki xüsusiyyətlərinin analizi

Matrisası polimerdən təşkil olunmuş kompozit materiallar karbon və bor lifləri ilə gücləndirildikdə daha davamlı olur ki, buda yükləndikləri (sürtünmə və sürtünmə yırtılması) zaman statik yüklər altında deformasiyaya yaxşı tab gətirə bilirlər. Şüşə liflərdə bu xüsusiyyətlər əhəmiyyətli dərəcədə yükəkdə və sürtünmə qırılması dizayndan əsaslı formada asılılıq nümayiş elətdirir. Aramid liflərində isə bu xassələr o qədər də inkişaf etməyib və xeyli zəifdi. Apardığımız araşdırmalardan məlum olur ki, polimerlər özlü elastik materiallardır bu zamanda liflərlə doldurulduqda əhəmiyyətli dərəcədə sürtünmə nümayiş etdirmiş olur. Buna görə də, sürünməlidir olmaq hesab olunur nə vaxt Kompozitlər nə vaxt ki, sürtünməyə və müəyyən yüklərə məruz qalırlar o zaman tərkiblərində olan matrisanın istiqmətlənməsi üstünlük təşkil edir [Silva, V.A., Folgueras L.C., Cândido, G.M., Paula, A., Rezende, M.C, 2013].

Gücləndirici kimi dayanıqlı liflərdən, fasiləsiz liflərdən, sapşəkilli hissəciklərdən təşkil olunaraq yüksək güc, sərtlik altında işləyə tab gətirə bilirlər. Bunlar monolit metal ərintiləri adlanır ki, mühəndislik sahəsində çox geniş tətbiq olunur. Gücdə və modulda artım olmasını istəyiriksə davamlı liflərlərdən istifadəyə üstünlük verməliyik. Davamlı liflərdən də başqa metal matrisli kompozitlərdə var ki, onların istifadəsi bir çox dayanıqlı

möhkəmləndiricilərə nisbətən yüksək qiyməti ehtiva edir. Sənayedə tətbiq olunan gücləndirici matris kompozit gücləndirilmiş matris kompozitlər fasiləsiz liflər və ya dipers hissəciklərdir. Tərkibi digər qarışıqla əvəz etmək maliyyə cəhətdən yuxarı xərclərlə və davamsız liflərlə nəticələnə bilər [Silva V.A., Folgueras L.C., Cândido G.M., Paula A., Rezende M.C, 2013].

Mexaniki xüsusiyyətlərə davamlı fiberlə gücləndirilmiş metal matris kompozitlər. Metal matrisdən ibarət olan kompozit polimerlər böyük gücə malikdir və bu da onları eyni istiqamətli strukturda istifadə edilməsinə şərait yaradır verir. Cədvəl 3.2 də biz davamlı bor, alüminium oksidi və silikon karbid (SiC) liflərinin elastik xassələrini və eyni istiqamətdə olan metal matrislə kompozitlərin gərginliklərini görə bilərik. Alınan dəyərlər çoxsaylı mənbələrdən istinad olunmuşdur. Cədvəl vasitəsi ilə biz kompozitlərin güc modullarının matrislər üçün istifadə olunan monolit tərkibli materialların güc modullarından nə dərəcədə böyük olduğunu görmüş oluruq.

Cədvəl 3.2. Xüsusi güc modulu və eyni istiqamətli metal matris kompozitlər

Lif	Matris	Xüsusi Güc Gərginlik
Metal	7075- T6	26
Titan	Ti-6Al-4V	26
Bor	Al	81
Alüminium oksidi	Al	75
SiC	Ti	72

Cədvəl 3.3. Eyni istiqamətli metal matris kompozitlərin güc xüsusiyyətləri

Lif	Matris	Sıxlıq q/sm³	Eksenel Gərginlik MPa	Eksenel sıxılma MPa
Titan	7075- T6	2.8	551	517
Titan-Alüminium	Ti-06A-4V	4.4	950	880
Bor	Al	2.6	1240	1720
Alüminium oksidi	Al	3.2	1700	1800
SiC	Ti	3.6	1700	2760

Silikon karbid hissəcikləri ilə gücləndirilmiş alüminiumun mexaniki xüsusiyyətləri. Metal matrisli kompozitlər sırasında silikon karbid hissəcikləri ilə qüvvətləndirilmiş alüminium ən geniş yayılanıdır. Toz metallurjiyası, zərrəciklərin təzyiqlə süzülməsi və sinterləmə də daxil edilməklə, müxtəlif proseslər hazırlandığı müddətdə bu material tətbiq olunur. Xüsusiyyətlərindən asılı olaraq hissəciyin növündən, həcmindən, matrisada olan ərintidən və emal prosesindən əsaslı araşdırılaraq istifadə olunur [Shang. Y., Shen. Z., Xiao, 2013]. Cədvəl 3.3 də isə ümumi şəkildə alüminiumun, titanın, polad ərintilərinin, eyni zamanda da kompozitin digər nümayəndələrinin fiziki xassələri təhlil edilib. Diqqət yetirsək görə bilərik ki, hissəciyin həcm hissəsi artdıqca, modulu və axma gücü də bir o qədər artmış olur və, qırılması, dartılması üzrə xassələr isə azalmış olur. Yüksək temperaturlarda davamlılıq xüsusiyyətlərini yüksək formada yaxşılaşdırmaq üçün hissəcikləri gücləndirmək lazımdır. Həmçinin qısa vaxtli kompozit modulları bunlardan əhəmiyyətli dərəcədə böyükdür.

Silikon karbid hissəcikləri ilə gücləndirilmiş alüminiumun fiziki xüsusiyyətləri. Silikon karbid hissəcikləri ilə doldurulmuş alüminium tərkibli kompozitlərə nəzər yetirsək onların elektronikanın və fotonikanın bir çox sahələrində və təchiz olunmasında əsaslı şəkildə yer alır. Cədvəl 3.4 də alüminium, titan, polad ərintilərinin və üç istiqamətli(25, 55 və 70%-ə qədər) fraksiyaları üçün kompozitlərdə olan fiziki xüsusiyyətlərə baxa bilərik. Müşahidələr əsasında belə qənaətə gələ bilərik ki, edirik ki, həcm payı artdıqda eksenel sıxılma azalır və gərginlik bir qədər artır. İstilik keçiriciliyi də alüminium diapazonunda sabit qalır[Луцев, Л.В., Николайчук, Г.А., Петров, В.В., Яковлев, С.В].

Cədvəl 3.4.Xüsusi güc xassələri eyni istiqamətə malik metal matris kompozitlər

Lif	Matris	Eksenel Gərginlik MPa	Eksenel Sıxılma Mpa
Titan	7075-T6	200	190
Titan -Alüminium	Ti-6Al-4V	220	200
Bor	Al	480	660
Alüminium oksidi	Al	530	560
SiC	Ti	470	780

NƏTİCƏ

Dissertasiya işində ilk olaraq pilotsuz uçuş aparatlarının təsnifatı və taktiki texniki xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Daha sonra PUA-ların hazırlanmasında istifadə olunan stels texnologiyalı müasir kompozit materialların spesifik xüsusiyyətləri araşdırılmışdır.

Stels texnologiyasının müxtəlif metodları təhlil edilərək aralarından ən effektivləri seçilmişdir. Eyni zamanda pilotsuz uçuş aparatlarında stels texnologiyasının istifadə mümkünlüyü araşdırılaraq bu sahədə yeni texnologiyalar əsasında hazırlanmış hibrid kompozit materiallarının tətbiqi öyrənilmiş və tətbiqinə dair məlumatlar bəzi texniki ədəbiyyatlardan mənimsənilmişdir. Al əsaslı infraqırmızı örtüklər gizlilikdən qorunmaq üçün poliuretan(PU)-alüminium (Al) kompozit örtüyün uğurla istifadə olunduğuna nəzər yetirmiş olduq. Al hissələrin axıcılığını infraqırmızı şüalanmaya təsirinə və onların metamaterial əsasları EM absorberlərlə uyğunluq xüsusiyyətləri sistemli şəkildə tədqiq edilmişdir. Daha sonra NiZn və NiCuZn hibrid materialının tərkibi, üstünlükləri və tezlik zolaqlarına görə xarakteristikaları müqayisəli şəkildə təhlil edilmişdir. Təhlil nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, təklif olunan hibrid kompozit materialının hərbi sənayedə stels texnologiyasında tətbiqi məqsədə uyğundur. Təhlillər zamanı hibrid kompozit materialının tətbiqində radar siqnallarının udulma faizi, əks olunma faizinə nisbətən artmış olduğunu gördük. Buda öz növbəsində pilotsuz uçuş aparatının radara düşmə faizini azaldır. Son olaraq isə müxtəlif nanoboyalar analiz edilmiş və radar izindən qorunmada effektiv olduğu müəyyənləşdirilmişdir.

MAS-200, MAS-300, MF-450 və MF-500 markalı boyalar araşdırılaraq tərkibi və xüsusiyyətləri analiz olunmuşdur. MF-500 markalı nanoboyası daha məqsədə uyğun olduğu araşdırmalar nəticəsində təsdiqlənmişdir. Bundan əlavə olaraq təhlil zamanı karbon əsaslı kompozisiya materiallarının tətbiqinin əlverişli olduğunu görə bilərik. Karbon lifli kompozisiya materiallarının stels texnologiyasında tətbiq etmək daha səmərəlidir hansı ki, neftin yanması zamanı alınan karbon ölkəmizdə daha tez tapılır və maya dəyəri daha aşağı olduğundan səmərəliliyi xeyli yüksəkdir. Həmçinin karbon tərkibli örtüklər daha möhkəm, radar uducu, çəkilməsi daha asan başa gələnlər siyahısında ilk sırada dayanır.

ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Henri Eisenbeiss, A mini unmanned aerial vehicle (uav): system overview and image acquisition, International Workshop on "Processing and visualization using high-resolution imagery" 18-20 November 2004, Pitsanulok,Thailand, <https://picture.iczhiku.com/resource/paper/whKfUEpFeYwGavbx.pdf>
2. Konstantinos Zikidis, Alexios Skondras, Charisios Tokas. Low Observable Principles, Stealth Aircraft and Anti-Stealth Technologies. Journal of Computations,Modelling,vol.4,no.1,2014,129-165, <file:///C:/Users/Admin/Downloads/Stealthpresentationver.2.pdf>
3. Yousef Alghamdi, Arslan Munir, and Hung Manh La Architecture, Classification, and Applications of Contemporary Unmanned Aerial, DOI: 10.1109/MCE.2021.3063945
4. Seong-Hwang Kim, Seul-Yi Lee, Yali Zhang, Soo-Jin Park, and Junwei Gu. Carbon-Based Radar Absorbing Materials toward Stealth Technologies. First published, 21 September 2023, DOI: 10.1002/advs.202303104
5. Mech eng 3016 aeronautical engineering dr. Maziar arjomandi, classification of unmanned aerial vehicles, <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/29666442/group9libre.pdf?1390877518=&response-content>
6. Thato Elijah¹, Rodrigo S. Jamisola Jr, Zeundjua Tjiparuro¹, Molaletsa Namoshe¹. A review on control and maneuvering of cooperative fixed-wing drones. International Journal of Dynamics and Control (2021) 9:1332–1349. <https://doi.org/10.1007/s40435-020-00710-2>
7. Dipen Kumar Rajak a, Durgesh D. Pagar b, Ravinder Kumar c, Catalin I. Pruncu. Recent progress of reinforcement materials: a comprehensive overview of composite materials Author links open overlay panel, Journal of Materials Research and Technology Volume 8, Issue 6, November–December 2019, Pages 6354-6374, <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2019.09.068>

8. Oh, J.-H., K.-S. Oh, C.-G. Kim, and C.-S. Hong. 2004. Design of radar absorbing structures using glass/epoxy composite containing carbon black in X-band frequency ranges. *Composites Part B: Engineering*. 35:49-56. Stealth Fighter, <file:///C:/Users/Admin/Downloads/T001329.pdf>

9. G. A. Rao and S. P. Mahulikar. Integrated review of stealth technology and its role in airpower. The Aeronautical Journal, Volume 106, Issue 1066, December 2002, pp. 629 – 642. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000011702>

10. Binayak Pattanaik, Aditya Chauhan / A study of stealth technology // Department of Mechanical Engineering, Siksha O Anusandhan (Deemed to be University), Bhubaneswar, Odisha, India, Volume 81, Part 2, 2023, Pages 543-546. <https://www.researchgate.net/publication/351292899>

11. Saraçyakupoğlu T., Delibaş H. D., Özçelik A. D “An Experimental Determination and Numerical Analysis of A Loiter Munition Unmanned Aerial Vehicle System”, *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 6(1): 83-101, (2022), <https://doi.org/10.46519/ij3dptdi.1083686>

12. Əfəndiyev Y.Z, Mustafazadə N.X, Fərzəliyev A.X, “Pilotsuz uçuş aparatının füzelyajının hazırlanmasında istifadə olunan kompozit materiallar”, "Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri" Beynəlxalq Elmi- Texniki konfrasının məruzə materialı, Bakı- 2022, s.4-6

13. Shang. Y., Shen. Z., Xiao S. On the Design of SingleLayer Circuit Analog Absorber Using Double-Square-Loop Array. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* (Volume: 61, Issue: 12, December 2013) Page(s): 6022 – 6029 DOI: [10.1109/TAP.2013.2280836](https://doi.org/10.1109/TAP.2013.2280836)

14. D G Xu, J S Liu, S Luo, and P Li. Development Status and Trend of Stealth Technology of Tactical Missiles. *Journal of Physics: Conference Series*, Volume

- 2460, International Symposium on Advanced Launch Technologies (ISALT 2022)
03/07/2022 - 05/07/2022 Xi'an, China. DOI 10.1088/1742-6596/2460/1/012064
15. Honghui Chen, Wenle Ma, Zhiyu Huang, Yi Zhang, Yi Huang. Graphene-Based Materials toward Microwave and Terahertz Absorbing Stealth Technologies // *Advanced Optical Materials*, 2019 Volume 7, Issue 8. <https://doi.org/10.1002/adom.201801318>
16. Husnain Ahmad. Stealth technology: Methods and composite materials / Asra Tariq, Amir Shehzad, Muhammad S. Faheem, Muhammad Shafiq Riaz, Hafiz T. Haider, Ali Afzal, Muhammad B. Qadir // *Polymer Composites - Dubai*, ВЭФ-2019, Journal, Polymer, Composites, volume 40, pages <https://doi.org/10.1002/pc.25311>
17. P. Balaji Ananth., Abhiram.K, Hari Krishna, MS Nisha/ Synthesis of radar absorption material for stealth application//, Volume 47, Part 14, 2021, Pages 4872-4878. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.196>
18. Li, G. Zhang, X. Bai et al., "Highly conducting graphene sheets and Langmuir-Blodgett films," *Nature Nanotechnology*, vol. 3, no. 9, pp. 538–542, 2008.
19. Николайчук Г.А., Петров В.В., Яковлев С.В., Луцев Л.В. Радиопоглощающие материалы на основе наноструктур. *Нанотехника*, 2009, № 1(17), с. 41–44.
20. Mengyu Shi, Chen Xu, Zhihong Yang, "Achieving good infrared-radar compatible stealth property on metamaterial-based absorber by controlling the floating rate of Al type infrared coating". Journal of Alloys and Compounds Volume 764, 5 October 2018, Pages 314-322 <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2018.06.093>
21. Mauro A. Alves, Rafael J. Port, Mirabel C. Rezende. Simulations of the radar cross section of a stealth aircraft "IEEE MTT-S International Microwave and

- Optoelectronics Conference” 2007. 2007 SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Optoelectronics Conference. DOI: 10.1109/IMOC.2007.4404292
22. Anna Kolanowska. From blackness to invisibility – Carbon nanotubes role in the attenuation of and shielding from radio waves for stealth technology / Dawid Janas , Artur P. Herman , Rafał G. Jedrysiak , Tomasz Giżewski , Sławomir Boncel //Elsevier , volume 126, January 2018, Pages 31-52. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.09.078>
23. Zhang P Z , Zhang Y O, et al 2019 Research on the Stealth Performance of Half-stealth Projectile against Radar J. Acta Armamentarii. Journal Acta Armamentarii » 2019, Vol. 40 ». doi: 10.3969/j.issn.1000-1093.2019.12.025
24. Park K.Y., Lee S.E., Kim C.G., Han J.H. Fabrication and electromagnetic characteristics of electromagnetic wave absorbing sandwich structures. Composite Science and Technology. Volume 66, Issues 3–4, March 2006, Pages 576-584. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.05.034>.
25. Ren W, Nie Y, Xiong X, Zhang C, Zhou Y, Gong R. (2012). Enhancing and broadening absorption properties of frequency selective surfaces absorbers using FeCoBbased thin film. Journal of Applied Physics, 111(7), 07E703. <https://doi.org/10.1063/1.3670980>
26. Bora, P. J., Azeem, I., Vinoy, K. J. And Ramamurthy, P. C., “Morphology controllable microwave absorption property of polyvinylbutyral (PVB)-MnO₂ nanocomposites”, Composites Part B: Engineering, 132: Volume 132, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.014>.
27. Shang Y., Shen Z., Xiao S. (2013). On the Design of SingleLayer Circuit Analog Absorber Using Double-Square-Loop Array. Journals & Magazines Volume: 61 Issue:12.DOI: 10.1109/TAP.2013.2280836

28. Vinoy K., Jha R. (2011). Radar Absorbing Materials: From Theory to Design and Characterization. Boston: Kluwer Academic Publishers
29. Dedov A.V., Nazarov V.G. (2016). Multilayer Radar Absorbing Non-Woven Material. Radiophysics and Quantum Electronics, Volume 59, pages 43–47, (2016). <https://link.springer.com/article/10.1007/s11141-016-9674-x>
30. Lutsev L.V., Yakovlev S.V., Zvonareva T.K., Alexeyev A.G., Starostin A.P., Kozyrev S.V. Microwave Properties of Granular Amorphous Carbon Films with Cobalt Nanoparticles, Journal of Applied Physics, 2005, vol. 97, Doi: 10.1063/1.1913797
31. Луцев Л.В., Николайчук Г.А., Петров В.В., Яковлев С.В. Многоцелевые радиопоглощающие материалы на основе магнитных наноструктур: получение, свойства и применение. – Нанотехника, № 2(14), с. 37–42. 2008
32. Graphene-enabled electrically switchable radar-absorbing surfaces Osman Balci, Emre O. Polat, Nurbek Kakenov & Coskun Kocabas. “Nature Communications” volume 6, DOI: 10.1038/ncomms7628
33. Integrated review of stealth technology and its role in airpower, Department of Aerospace Engineering, Indian Institute of Technology, Mumbai, India. The Aeronautical Journal, Volume 106, Issue 1066, December 2002, pp. 629 – 642. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0001924000011702>
34. Bora, P. J., Azeem, I., Vinoy, K. J. And Ramamurthy, P. C., “Morphology controllable microwave absorption property of polyvinylbutyral (PVB)-MnO₂ nanocomposites”, Composites Part B: Engineering, 132: 188-196 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.09.014>
35. Silva V.A., Folgueras L.C., Cândido G.M., Paula A., Rezende M.C., Costa M.L. Nanostructured Composites Based on Carbon Nanotubes and Epoxy Resin for Use as Radar Absorbing Materials. Materials Research-iberoamerican Journal of Materials, 16(6), 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-14392013005000146>

36. Anna Kolanowska. From blackness to invisibility -Carbon nanotubes role in the attenuation of and shielding from radio waves for stealth technology/Dawid Janas Artur P. Herman , Rafał G. Jędrysiak , Tomasz Giżewski , Sławomir Boncel //Elsevier,volume 126,January, 2018, Pages 31-52.
<https://doi.org/10.1016/j.carbon.2017.09.078>
37. F.Ruiz-Peres.S, López-Estrada.R, Tolentino-Hernández.F, Kabalero-Briones.J, Journal of Science Advanced Materials and Devices 7(3):100454.
Doi:[10.1016/j.jsamd.2022.100454](https://doi.org/10.1016/j.jsamd.2022.100454)