

ПРАВЦИ РАЗВОЈА САВРЕМЕНИХ ПВО СИСТЕМА

Потпуковник Ђорђе Затезало



Анализом борбених дејстава у ваздушном простору у XX веку може се закључити да ако је у једном периоду доминирала једна страна, у следећем периоду се релативно брзо успостављала равнотежа. Тенденција у развоју ваздухопловног наоружања, као што су повећање домета оружја за дејство са дистанце, повећање прецизности крстарећих ракета, употреба наоружаних беспилотних летелица, као и примена стелт технологије у циљу смањења ефективне радарске рефлексне површине, поставља пред системе ПВО велике захтеве у погледу правовременог откривања и реакције борбених система. Смањењем одразних површина циљева намеће се потреба да артиљеријско-ракетне јединице за противваздухопловна дејства (АРЈ за ПВД) буду у стању да успешно изводе борбена дејства по авионима, хеликоптерима, баллистичким пројектиlima, крстарећим ракетама, беспилотним летелицама, вођеним и невођеним пројектиlima, и то у условима интензивног противдејства противника.

*Аутор ради у 250.ракетној бригади ПВО

Карактеристике савремених вишенамених борбених авиона и других убојних средстава захтевају откривање

средстава за дејство из ваздушног простора (ВаП) мале ефективне радарске површине (ЕРП) и ниског интензитета ИЦ зрачења



Снимио: Ј. Мамула

у јединици површине. Осматрачка средства у систему оружја треба да обезбеде право-времену и поуздану слику ситуације у ВаП-у која ће системима оружја обезбедити предуслове за правовремено ватрено дејство. Зоне дејства система оружја треба да обезбеде ватрено дејство по ваздухоплови-ма противника пре њиховог долета до линије лансирања убојних средстава.

Као резултат непрекидне борбе за пре-власт између ракетних система ПВО и на-падних средстава из ваздушног простора, као и радарских и ометачких средстава, произашао је читав низ теоријских анали-за, системских решења, принципа рада и техничких реализација. Такав ток развоја догађаја наставиће се и у будућности. Та-ко је, на пример, са појавом „невидљивог“ авиона произведеног у стелт технологији, један од праваца размишљања био да је радар као сензор изгубио значај. Међутим, то је стимулисало теоријску и експеримен-талну анализу неких слабости оваквог на-чина маскирања циља. Откривено је да се са бистатичком радарском конфигурацијом у знатној мери може демаскирати циљ, а исто је и са моностатичким радаром на ни-ским фреквенцијама. И рад у милиметар-ском опсегу омогућује његово уочавање услед мањих нерегуларности на површини циља. Сем тога, треба узети у обзир чиње-ницу да је стелт технологија изузетно ску-па и није доступна већини земаља у свету, не само због цене, већ и због високог нивоа теоријских и практичних знања (интензиван технолошки развој средстава за вођење борбених дејстава у трећој димензији про-стора захтева адекватна знања кадра ко-ји тим технологијама рукује).

Само економски јаке државе у свету развијају савремене интегрисане системе за ПВД. Тако је, поред Сједињених Америч-ких Држава и Руске Федерације, као глав-них такмаца у развоју интегрисаних систе-ма за ПВД, присутна и интеграција више држава на развоју заједничких ПВО систе-ма, као што је *Aster 30 SAMP/T*, заједнич-ки пројекат француско-италијанске корпо-рације, *MEADS* заједнички пројекат аме-ричко-немачко- италијанских пројектаната, итд. Поред тога, уочљив је и значајан на-предак у развоју кинеских ПВО система.

Специфичност неких ПВО система средњег и малог домета страних држава је да користе наменски развијене вођене ракете „земља-ваздух“. Међутим, на свет-ском тржишту се нуди све већи број ПВО система који користе вођене ракете „ваз-дух-ваздух“ који су прилагођени и за лан-

сирање са земље (Surface Launched). Иако имају нешто слабије карактеристике у односу на „праве“ ПВО системе, они имају своје предности као што су мања набавна цена, те једноставније одржава-ње, посебно зато што користе исте ракете као и борбени авиони.

У развоју ПВО система у протеклој де-ценији интензивно се експлоатише тер-мин стратешке противракетне одбране. Тако су развијени системи ПВО који, по-ред стандардне намене, служе како за борбу против тактичких балистичких раке-та средњег домета (лете веома великим брзинама 2 до 3 Маха, колика је уобичаје-на брзина балистичких ракета, па чак и до 10 Маха, и користе балистичку путању, практично се обрушавају), тако и за непо-средну одбрану виталних објеката и трупа (амерички *THAAD* и *MEADS*, европски *Aster 30*, руски *PANCIR S-1*, *C-400 Triumph* и израелски *Arrow 2*). Интерконтиненталне ракете великог домета су још брже (чак до 7 km у секунди) и њих практично ниједан ракетни систем ПВО не може уништити. У том правцу интензивно се ради на разво-ју и тестирању нове генерације оружја.

Нека искуства у извођењу борбених дејстава у ваздушном простору и из њега са аспекта технолошких достигнућа

Западна стратегија пробоја и униште-ња противничке ПВО развијала се на тех-никама које су употребљаване средином 40-тих година за време бомбардовања Немачке. У том периоду британско и аме-ричко ваздухопловство је први пут користи-ло авионе за ометање и пробијали против-ничку ПВО летећи испод зоне откривања радарских средстава. Британци су били пи-онири у пројектовању и стварању модела *SEAD/DEAD* (Suppression/Destruction of Enemy Air Defenses) авијације, односно авијације за угушење и уништење против-ничке ПВО тако што су наоружавали раке-тама ловце типа *Turboon* против немачких радара за осматрање и откривање. Тако-ђе је значајно да су Немци за време Дру-гог светског рата први користили ракете зе-мља-ваздух типа *Wasserfall* и *Rheintochter*, које су, иако никада нису уведене у оперативну употребу, представљале тех-нолошку прекретницу за амерички, британ-ски и совјетски развој ракетних система ПВО након рата.

У историји ратовања авијације и средстава за ПВД, средства исте генерације су се само у два конфликта нашао једна против других – у Вијетнаму између 1965. и 1972. и на Блиском истоку у октобру 1973. године. Резултати средстава за ПВД су у оба случаја били више него добри. На пример, само у току 1972. у Вијетнаму је срушено више од 400 авиона, од којих су 223 била у том тренутку најсавременији ловци F-4 „Phantom“ и стратегијски бомбардери Б-52. За 10 дана у октобру 1973. је само у Сирији и само ракетним системом за ПВД куб срушено 64 израелских авиона.

Дуготрајни рат у Вијетнаму омогућио је значајну етапу развоја ПВО система, након што су Совјети допремили РС ПВО типа S-75 (*двина*)/SA-2 *Guideline* за одбрану Северног Вијетнама, а америчке снаге специјализоване авионе за тактичко ометање радарских средстава типа ЕВ-66, ЕА-6А/В и ЕКА-3В и противрадарске ракете које су испаливане са авиона типа EF-100F, А-6В, F-105G и EF-4C који су представљали SEAD групе за уништење противничке ПВО. Упоредо с тим, америчко ваздухопловство је развило авион типа F-111А који аутоматски користи конфигурацију терена да би избегао противничку ПВО и откривање радаром. Иако се процене и мишљења око успеха америчке SEAD/DEAD авијације у Вијетнаму разликују, показало се да је комбинација електронског ометања и борба против ракетних батерија ПВО и радарских система који их подржавају ефикасан начин да се оствари превласт у ваздушном простору и тиме омогући подршка осталим јединицама да се операције могу несметано одвијати.

Искуства из израелско-арапског рата 1973. године показала су да иако су на почетку рата мобилни ракетни системи 2K12 КУБ/SA-6 *Gainful* и полустационарни С-125

HEBA/SA-3 Гоанаметнули значајне губитке израелској ловачкој авијацији, ипак је измењена тактика употребе авијације, пре свега низак лет авијације и употреба брзих копнених снага допринели су да коначан резултат буде на страни Израела. Даље америчко побољшање технолошких могућности средином 70-тих година двадесетог века је било развијање моћних авиона F-4G *Wild Weasel IV* и EF-111A *Raven*. Прилично једноставна противрадарска ракета AGM-45 *Shrike* замењена је софистицираном дигиталном верзијом AGM-88 *HARM*.

Совјетска реакција на губитке њихових система ПВО у Вијетнаму, непотпун учинак за време Четвртог арапско-израелског рата 1973. године и наредни сиријски пораз у ваздуху и неефикасност ПВО система 1982. године био је развој нове генерације ПВО система и радара, са већим дометом, бољом отпорношћу на електронско ометање и веома значајном мобилношћу ПВО система. Ти системи били су полумобилни стратегијски ПВО системи С-300П/SA-10А „*Grumble*“ и веома покретљиви ПВО систем С-300В/SA-12А/В „*Giant*“/ „*Gladiator*“ (на Западу познати као ПВО системи са две цифре SA-xx double digit).



Ракетна средства произведена у периоду шездесетих и седамдесетих година реализована су у складу са технолошким достигнућима и техничким решењима тог времена. Ради се о средствима реализованим на бази снажних предајних цеви, са суперхетеродиним пријемницима са системом за брисање сталних одраза изведеним са класичним електронским цевима, делимично решеним системима за корелацију података и централизовано управљање извршним оружјем, класичним приказима радарске слике, класичном обрадом и дистрибуцијом информација. Тактичко-технички захтеви који су тада били постављени пред системе ПВО углавном су одговарали јачини, односно карактеру нападних средстава из ваздушног простора.

Почетком осамдесетих година двадесетог века совјетска армија ПВО увела је у оперативну употребу самоходни *C-300ПС/SA-10В* ПВО систем, убрзо затим дигиталну верзију *C-300ПМ/SA-10С* са веома покретним батеријама ПВО. Истовремено, ПВО систем средњег домета *2К12 „КУБ“/SA-6* замењен је способнијим ПВО системом *9К37 „БУК-М1“/SA-11 „Gadfly“*, а затим и савременијом верзијом *9К37М1-2 „БУК-М1-2“/SA-17 „Grizzly“* са ракетом *9М317* која има боље кинематичке карактеристике и већи домет. Највећа достигнућа у хладноратовским генерацијама ПВО система била су у веома великој мобилности јединица, тј. сви ови системи били су способни за дејство за 5 минута из маршевског поретка, и такође за 5 минута да напусте борбену позицију и промене ватрени положај. Системи *C-300ПС/ПМ* и *C-300В* показали су да су моћни ПВО системи за тај период, нарочито нишански радар са фазирајућом решетком великог домета, који су били далеко тежи за ометање од радара из претходне генерације ПВО система *SA-2*, *SA-3* и *SA-6* и далеко тежи за гађање са противрадарским ракетама. Важно је нагласити да су ПВО системи *SA-10*, *SA-11* и *SA-12* искористили бежични радио-фреквенцијски линк за пренос података који је омогућио флексибилност у размештају елемената борбеног распореда командног места, радара за навођење и ракетних лансера, тј. радар за навођење није више био ограничен дужином каблова за размештај лансирних рампи и осталих елемената борбеног распореда.

Након инвазије ирачких трупа на Кувајт 1991. године америчке снаге су поседовале технолошки развијене конвенционалне *SEAD/DEAD* ваздухопловне снаге са *HARM*

противрадарским ракетама које су носили авиони *F-4G Wild Weasel* и *F/A-18 Hornet*, робустне могућности тактичког ометања са авионима *EF-111A Raven* и *EA-6B Prowler*. Мање очљиви су били први пут употребљени у борбеним дејствима „невидљиви“ стелт бомбардери *F-117A* (слика 1). Слабија ефикасност ирачке ПВО са совјетским и француским системима 1991. године била је резултат концентрисаних, координираних и непрекидних напада употребом ваздушних мамаца, активношћу *SEAD/DEAD* авијације, ометања ПВО радара и употреба „невидљивих“ бомбардера *F-117A* против виталних и добро утврђених командних места. Ирачка доктрина посветила је веома малу пажњу мобилности система, тако да је већина ПВО батерија била стационарног типа. Да би постигли одређене циљеве против такве ПВО америчке снаге су потрошиле стотине беспилотних летелица, око 2000 противрадарских ракета *AGM-88 HARM* и мањи број британских противрадарских ракета типа *ALARM*.

Следећи значајнији сукоб средстава за напад из ваздуха и средстава ПВО био је НАТО бомбардовање СР Југославије 1999. године, приликом извођења операције „Удružена снага“ („Allied Force“ НАТО назив за ваздушну кампању у времену од 24.03. до 09.06.1999. године). Иако се чинила као успешна са становишта броја изгубљених коалиционих авиона, успех *SEAD/DEAD* авијације био је много мање ефектан. Док су коалиционе снаге лансирале преко 1000 *HARM* противрадарских ракета уништиле су свега неколико батерија ПВО система *двина*, *нева* и *куб*. Веома дисциплинована тактика „лансирај и склони се“ ПВО СРЈ резултирала је да већина ПВО батерија преживи. Тиме се стварала непрестана претња, чекајући у заседама, и одвлачило се много снага и времена за НАТО авијацију, пре свега авионима *SEAD/DEAD* група *F-16С/J*, *EA-6B* и *Tornado ECR*. Таква тактика, као и негативна искуства са ниским летовима борбене авијације у првом америчко-ирачком сукобу 1991. године, натерала је НАТО планере да борбена авијација лети изнад 15.000 фита (изнад 5 км) и тиме знатно смање могућност откривања циљева на земљи и онемогуће пилотима да разликују стварне циљеве од лажних. И поред веома ефикасне примене вучених мамаца типа *AN/ALE-50* (употребљено око 1500 комада, а након завршетка сукоба Министарство одбране САД затражило је од Конгреса новчана средства за израду још



Слика 1 – Први авион развијен на основу „stealth” технологије F-117A

7600 комада) који су коришћени за прекид навођења ракете на циљ (авион) у последњој етапи навођења (самонавођења), ПВО СРЈ је остварила неколико веома успешних заседа, обарајући „невидљиви“ бомбардер F-117A (први стелт бомбардер изгубљен у борбеним дејствима) и друге ваздухоплове, крстареће ракете и беспилотне летелице (од укупно оборених 25 летелица 4 су биле америчке типа *Predator*, 8 типа *Hunter*, 4 типа *Pioneer*, 7 немачких и француских *CL/289* и 2 француских *Crecerelle*).

Овај сукоб је са становишта развоја средстава за напад из ваздуха веома значајан због ангажовања нових типова ваздухоплова и средстава за извиђање и напад из ваздуха, које се до тада нису раније употребљавали. Тако су први пут употребљена сва три типа америчких тешких бомбардера (10 авиона *B-52*, 5 авиона *B-1* и 6 авиона *B-2*), а први пут су употребљени „невидљиви“ стратешки бомбардери *B-2* из своје базе у Мисурију, САД. Том приликом су забележени најдужи летови борбене авијације до извршења одређеног задатка укупног трајања од 28 до 32 сата. Њихов задатак био је уништење значајних и добро утврђених командних места и постројења за ПВО употребом нових типова бомби *GBU-31* и *GBU-37* (JDAM Joint direct/attack munitions) са навођењем преко GPS система, тј. система глобалног позиционирања. У овом сукобу је интензивно коришћена муниција са прецизним навођењем, за разлику од „Пустинске олује“ где је тај однос био свега 10%, већ 1999. у НАТО бомбардовању Србије и Црне Горе било их је 35%, у

Авганистану 60%, а у Другом заливском рату преко 80%. Више него када раније коришћене су беспилотне летелице и то за борбену намену и подршку снага за откривање трупа на терену. Намена ових летелица је извиђање, осматрање и обележавање објеката за дејство, контролу резултата дејства и корекцију ватре при дејству. Намењене су и за радио-техничко извиђање и електронско ометање радио и радарских уређаја непријатеља. Оне могу лоцирати и пратити објекте у ваздуху, на копну и мору и имају могућност да слику о откритим објектима пренесу у реалном времену на командно место. На себи имају уграђене различите сензоре: ТВ камере, термовизијске камере, ИЦ-скенере и радаре са синтетизованом антеном, који им служе за извиђање дању и ноћу. Ангажовање великог броја авиона различите намене из 13 земаља чланица НАТО алијансе, од почетних 250 на почетку сукоба нарасло је до готово 1000 авиона, од чега је око 54% било америчких. Више него икада раније повећана је употреба средстава за извиђање и напад из космоса (више од 50% америчких сателита било је укључено са задацима извиђања, координације и напада).

Након овог сукоба није било значајнијих борби између авијације и РС за ПВД, иако су приликом напада коалиције америчке и британске авијације 2003. године на Ирак ангажовани веома бројни и разноврсни РС за ПВД западног и источног порекла, доживели су потпуни пораз за свега неколико дана због технолошке инфериорности и тактике употребе ових система. Оно што су операције „Пустинска

олуја“ и „Удружена снага“ постигле јесте да фокусирање и императив будућег развоја ПВО пре свега буде у њеним техничко-технолошким способностима. Деценију након завршетка операције „Удружена снага“ сведоци смо ужурбаног развоја активности руске и кинеске одбрамбене индустрије, као реакција на лекције научене из ових сукоба.

Правци развоја средстава ПВО

Конструкција и развој средстава ПВО је привилегија малог броја економски и технолошки развијених држава. Основе за конструкције ПВО система у скорој будућности представљају тенденције које су већ проверене и које се увелико примењују у пракси, али и експлоатација глобалног тржишта високих технологија, посебно компјутерских. Можемо да идентификујемо бројне тенденције у развоју РС за ПВД, али ћемо обрадити само неке од њих.

Висока мобилност

Према покретљивости ракетне системе за ПВД на Западу можемо поделити на стационарне, полумобилне и мобилне. Време које је потребно за превођење из маршевског положаја у борбени и обратно за стационарне системе износи више

од 120 минута, полумобилним системима од 60 до 120 минута, мобилним од 10 до 60 минута, док се за веома мобилне системе сматрају системи који се преводе за мање од 10 минута.

Донедавно је мобилност АРЈ за ПВД била привилегија само противавионских цевних система и система кратког домета. Сви новији руски и западни ПВО системи средњег и великог домета, који су произведени у претходном периоду, могу „лansirати и побећи“ за мање од десет минута, са свим кључним компонентама самоходних средстава и то углавном на точковима који имају висок степен проходности терена. Већина произведених осматрачких средстава може се разместити за борбени рад за око 15 минута. Кинески радарски и ПВО системи такође следе овај приступ. Конструктори ракетних система намеравају да потпуно стандардизују ПВО системе тако што ће све компоненте бити на возилима точкашима високе проходности са погонима на 6x6 или 8x8 точкова (слика 2). Овај приступ има смисла, јер су возила точкаши доступнија за набавку и одржавање, омогућавају већу брзину кретања по путевима и лакши транспорт него возила гусеничари, и производе мање вибрација и утицаја на сопствену електронску опрему. Хладноратовска тактика обезбеђивања целовите ПВО за тенковске јединице које врше операције ван путних праваца упо-



Слика 2 – Компоненте батерије РС ПВО С-400 „тријумф“

требом ПВО система на гусеничним возилима је нестала, док је повећано интересовање за већу мобилност и покретљивост јединица. Након операције „Удружена снага“ на значају је добила тактика чекања, без зрачења у заседи и брзо напуштање положаја након дејства. Битна карактеристика премештања јединице је, поред брзине, и кретање средстава у мањим групама (3 до 4 средства) што представља проблем за откривање средствима за извиђање из ваздушног простора. Такође је важно придржавати се радио и радарског ћутања када се у ваздушном простору налази SEAD/DEAD авијација.

Један од веома важних захтева средстава за ПВД и радара јесте да се сва средства могу транспортовати авијацијом (авионима типа *C-130 Hercules*, *C-17 Globemaster III*, *AH-70*, *ИЛ-76* и сл.), чиме се повећава мобилност јединица АРЈ за ПВД на глобалном нивоу. Овај концепт представља значајан искорак у погледу брзине размештања јединица за ПВД, јер се за веома кратко време јединице могу преместити са једног на други крај Земљине кугле, оперативно развити и омогућити противваздухопловну заштиту снага за брзо реаговање.

Истовремено, тенденција је да се стационарни системи попут РС „ДВИНА“ / SA-2 и „НЕВА“/SA-3 модернизују тако што им се побољшавају маневарске каракте-

ристике стављајући лансирне рампе на покретна возила (ови примери модернизације су присутни у Русији, Белорусији, Пољској и Куби), остављајући једино легалитет ПВО систему *C-200 ВЕГА/SA-5* да остане стационарни систем.

Повећање домета ракета и радара

Од савремених РС за ПВД система великог домета захтева се да имају добру тактичку и стратешку покретљивост и могућност уништавања широког спектра циљева. Тактичка покретљивост значи да сви подсистеми морају бити на теренским возилима, а стратешка да морају бити довољно лагани како би се могли превозити и транспортним авионима средње величине. Уз то, од њих се очекује да могу уништавати балистичке пројектиле малог и средњег домета.

За противваздухопловну одбрану америчке војске и даље су највеће претње борбени авиони и хеликоптери, али све већу претњу чине и балистички пројектили свих домета, крстареће ракете и наоружане беспилотне летелице. У таквим околностима ракетни системи за ПВД великог домета имаће све веће значење, посебно у одбрани од балистичких пројектила и борбених беспилотних летелица које ће нападати с великих висина. Иако *Patriot*, као

Слика 3 – Елементи РС ПВО Meads





основни ПВО систем средњег домета, опремљен PAC-3 пројектиlima има велике могућности уништавања балистичких пројектила, америчка војска планира побољшање противракетних способности (Ballistic Missile Defense - BMD) увођењем у оперативну употребу ракетног система за гађање циљева на веома великим висинама (Terminal High Altitude Area Defense - THAAD). За разлику од PAC-3 пројектила (који је уведен у оперативну употребу) с максималним дометом од 20 km, THAAD пројектил би требало да има домет од чак 200 km и могућност дејства до висине од 150 km. THAAD је пројектован као мобилни систем за заштиту јединица на бојишту, градова и значајних цивилних и војних објеката од балистичких пројектила кратког и средњег домета. И док би THAAD требало да буде допуна, или боље речено надоградња *Patriota*, систем MEADS (Medium Extended Air Defence System) развија се као његова замена (слика 3). Прецизније речено, MEADS би требало да осигура одбрану на малим и средњим висинама од авиона и хеликоптера, балистичких и крстарећих пројектила јединицама на првој линији фронта, јединицама у покрету, те свих важних подручја (објеката) на бојишту и у његовој позадини на тактичком нивоу. Основна намена Meadsa је замена *Patriota* у америчкој војсци, *Patriota* и ПВО система *Hawk* у немачкој и ПВО система *Nike Hercules* у италијанској војсци. Због тога је то трилатералан програм у којем америчка страна даје више од половине новца у развој. Про-

порционално уложеним средствима подељен је и посао око развоја. Због тога је основан конзорцијум Meads International са седиштем у Orlando (Florida). У конзорцијум су укључене компаније MBDA-Italia, Eads и LFK (Lenkflugkörperysteme) из Немачке и америчка компанија Lockheed Martin. Међутим, планирани развој не иде очекиваним темпом и присутни су бројни проблеми око финансирања пројекта. Следећи овај приступ и француско-италијанска компанија EUROSAM је извршила дограду свог ракетног система ASTER 30 новом ракетом *Block 2*, која је намењена за гађање тактичких балистичких пројектила.

Израелска војска је развила систем великог домета *Arrow* као противракетни штит великог домета који треба да отклони све недостатке *Patriota*. Систем се развија од 1988. године као заједнички израелско-амерички пројекат како би се помогло Израелу да се одбрани од претњи из Ирана и Сирије. Најважнији део система је радар *Green Pine* који су развиле компаније IAI и Elta Electronics. Радар открива циљеве на удаљености од 500 километара који лете брзинама од 3000 метара у секунди. Ракета *Arrow-2* је први пут тестирана 1995. године, а ова двостепена ракета може уништавати циљеве на висинама од 8000 до 50 000 метара на удаљености од 70 километара. У фебруару 2007. године *Arrow-2* је успешно погодио мету *Black Sparrow* („црни врабац“ је назив за израелску балистичку ракету кратког домета типа *SCUD-B* са инерционом и ГПС навига-

цијом) која је опонашала лет иранске балистичке ракете *Shahab-3* опремљене нуклеарном бојевом главом. Даљи развој овог система требало би да иде у смеру да систем успешно гађа више циљева истовремено.

Општа тенденција руских противавионских ракета је повећање домета, истовремено са повећањем снаге радара, као резултат свега тога. Ракете руског ПВО система највећег домета, *48N6E2/E3* и *40N6E*, лете балистичком трајекторијом према удаљеним циљевима и тако постижу домет од 250 до 400 километара. Побољшање у домету ракета је делимично због снажнијих и јачих погонских мотора на чврсто гориво, али такође и због примене технике „паметне“ трајекторије лета и дигиталног система вођења. Ова технологија искоришћена је приликом модернизације ракетног система ПВО „Печора“/SA-3 тако што су искористили принцип „паметне“ трајекторије лета ракете, а постигли су је уградњом једног дигиталног блока у станици за вођење ракета (СТВР С-125) чиме је повећан кинематички домет ракете 5В27 за око 30%.

Према речима руског команданта војновоздухопловних снага генерал-пуковника Александра Зелина на конференцији за штампу, одржаној у Москви 11. августа 2009. год., у току је израда новог система ваздушно-космичке одбране С-500, који је наставак развоја ПВО система С-400 „Тријумф“, а који у пуној мери решава задатке ваздушно-космичке одбране уништавајући балистичке суперсоничне циљеве. Наводно је започео и развој верзије под називом С-1000, али нема поузданих података о разликама између тих система. Према речима генералног директора главног конструкторског бироа „Алмаз Антеј“ Игора Ашурбејлија, нови ракетни систем С-500 нема никакве везе са системом С-400, који је пуштен у серијску производњу. Систем С-500 моћи ће ефикасно да руши, поред крстарећих, и балистичке пројектиле у космосу чији домет износи 3.500 километара. Предност новог система је његова мобилност. Због способности да обара ракете у ближњем космосу, стручњаци оцењују да он има елементе стратешке противракетне одбране. Иначе, термин „ваздушна противракетна одбрана“ први пут је употребљен у новој војној доктрини Руске Федерације, коју је потписао председник Русије Дмитриј Медведев. Развој система С-500 финансира се из посебног државног програма.

Висока отпорност на електронско ометање

Већина руских радара за осматрање и навођење имају аутоматске псеудослучајне фреквенцијске скокове, већином брзу промену фреквенције са могућношћу промене фреквенције од импулса до импулса. Сличну тенденцију примењују и кинески произвођачи радарских средстава. Такви радарски ће испољити сличну отпорност на електронско ометање као и технологије примењене на западним радарским и дигиталним мрежама. Важно је нагласити да се технологија са скоковитом променом фреквенције данас примењује и приликом модернизације постојећих и већ застарелих ПВО система, као што је кинеска модернизација SA-2/HQ-2 са новим развијеним пасивним радаром H-200 са фазирајућом решетком (слика 4).

Напретком технологије побољшава се тачност мерења параметара, брзина реактовања и заштите, минијатуризација блокова, поузданост рада и сл. То не значи да се развојем технологије ови основни прин-



Слика 4 – Пасаивни радар са електронским скенирањем (PESA) H-200 кинеске производње

ципи не могу допунити новим, као што су, на пример, принципи временске разлике емитованог сигнала TDOA (Time Diference On Arival), фреквенцијске разлике емитованог сигнала FDOA (Frequency Diference On Arival), идентификација емисионог сигнала SEI (Specific Emitter Identification), што је све имплементирано у новим дигиталним пријемницима ADR (Advanced Digital Receiver) и што је до пре неколико година била само идеја на папиру.

У погледу примене фреквенцијски агилних (ФА) радара, тенденција развоја је, с једне стране, у проширењу опсега агилности, а с друге стране у остварењу компатибилности фреквенцијски агилних система са системом селекције покретних циљева (СПЦ), с обзиром на то да импулси са случајним фреквенцијама нису међусобно кохерентни. Интензивно се ради на томе да се при псеудослучајном закону промене фреквенције од импулса до импулса, меморишу поједини импулси, да би се затим одговарајућа Доплерова обрада вршила у моменту када се у току агилности појави импулс исте фреквенције као и неки од меморисаних импулса. На тај начин може се остварити задовољавајући степен кохерентне обраде, неопходан за систем селекције покретних циљева. Истина, овакав начин рада доводи до мањег фактора побољшања филтра селекције покретних циљева у односу на случај строго кохерентног рада. Али, и поред тога, од оваквог рада у два режима истовремено (ФА и СПЦ) очекују се повољни резултати у случају истовременог ометања активним и пасивним сметњама. Поред фреквенцијски агилног рада, предвиђа се и агилност и других параметара сигнала, као што су: поларизација, периода понављања, кодови сигнала и сл., што ће представљати велику сметњу у раду не само извиђачког, пријемног дела ометачке станице већ и предајника ометачких сигнала.

Технолошки развој оптоакустичних вишеканалних пријемника са Bragg-овим ћелијама, омогућиће истовремено одређивање фреквенције и азимута радара на сваком импулсу, на бази дводимензионалне Фуријеове трансформације пријемног сигнала, која се обавља посредством сочива, које у задњој фокалној равни остварује одговарајућу дводимензионалну расподелу интензитета светлости.

Такође се предвиђа и успешан развој адаптивних прилагодљивих филтара, који ће омогућити пријем радарских сигнала из правца бочних лепеза дијаграма зрачења

радарске антене. Наиме, ако се меморише радарски сигнал у моменту преласка главног снопа радара, када је сигнал релативно јак, може се на основу тих података брзо софтверски формирати одговарајући прилагођени филтар, што ће омогућити пријем слабих сигнала, који потичу од бочних лепеза. Тиме се битно продужава време пријема сигнала, што погодује прецизнијем мерењу параметара сигнала. Подаци ће се користити и за елиминисање ометања по бочним лепезама.

Развој технологије појасног ометања квазибелним шумом, као јединог ефикасног начина ометања фреквенцијски агилних радара, захтева велике излазне снаге и униформност спектра ометачког сигнала у целом опсегу агилности. То ће се у будућности реализовати паралелним синфазним радом више расподелјених TWT (Traveling-wave tube) појачавача, што представља релативно комплексан проблем. Ради се на развоју екстремно широкопојасних микроталасних хибрида велике снаге за синфазно сумирање ометачких сигнала. Као варијанта расподелјених појачавача примењиваће се систем тзв. активних антенских низова са сопственим TWT појачавачима у појединим зрачећим елементима низа, а могуће је коришћење и полупроводничких MPM (Microwave Power Module) модула где је тенденција повећање импулсне и средње снаге.

Масовно увођење брзих микропроцесора и програмираних дигиталних сигналпроцесора као саставних делова појединих блокова радара, омогућиће реализацију тзв. адаптивних радара, способних да се аутоматски, у реалном времену, прилагоде условима околине и оптимизују своје параметре. То, наравно, поред чисто техничких проблема, захтева и знатна теоријска и експериментална истраживања ради разраде оптималних алгоритама адаптивности у различитим ситуацијама. Најпростији облици адаптације су нпр. формирање нуле у правцу активних ометача и у побољшању рада система СПЦ.

Очекује се и даљи развој мера заштите радара у смеру освајања технике екстремно широкопојасног рада, коришћењем псеудошумних сигнала и вишеканалних корелатора изведених у SAW (Surface AcousticWave – површински акустички таласи) и MSW (Magnetostatic Surface Wave – магнетостатички површински таласи) технологији. Наиме, у овим технологијама, ако су освојене, могу се релативно једноставно и директно реализовати корелатори и конволвери за сваку резолуциону ће-

лију и са релативно малим димензијама и тежином. Ниски нивои вршне снаге, а истовремено велике енергије сигнала у радарима са малом могућношћу откривања (Low Probability of Interception LPI), односно радарима са компресијом импулса, представљаће велику тешкоћу у раду противничких извиђачких пријемника и ометача. Наиме, постоји правило да је један од најбољих начина заштите од ометања у ствари заштита од противничког извиђања. Масовно коришћење ових технологија значи извесну ренесансу аналогних метода обраде сигнала у ери опште дигитализације. Предност аналогних метода је у брзини рада, јер су операције тренутне, у реалном времену, док су дигиталне ограничене брзином А/Д конверзије и брзином аритметичких операција у филтрима и корелаторима.

Примена антена са фазирајућом решетком

Тенденција у развоју и употреби специјалних антена којима се може решити про-

блем просторне селекције, значајан за радарска средства ПВД, јесу антене са електронским претраживањем које су често активне и то са фазним управљањем дијаграмом зрачења, тзв. фазиране антенске решетке (ФАР). Пре појаве фазираних антенских решетки, за откривање циља у ваздушном простору и одређивање азимута и даљине био је потребан класичан дводимензионални радар са рефлекторском антенном. Ако се тражила поуздана информација о висини циља, требало је додати радар за мерење висине, а за легитимисање тог циља и одређивање његове припадности још један, познат као радарски уређај за легитимисање или идентификатор. Ракетни системи за вођење ракета земља-ваздух користе за свој рад два до пет класичних, наменских радара, што значи да се ради о једнофункционалним радарима.

Данас се интензивно ради на смањењу броја антена које се за извршавање задатака користе у једном уређају или систему. Борбени авион има већи број антена: за радар, радарски уређај за легитимиса-



ње (IFF), комуникације, пријемник упозорења о радарском зрачењу (RWR), ометач, навигацију (GPS) и сл. Сличан принцип важи и за радаре у РС за ПВД. Покушава се да се, увођењем тзв. мултифункционалне антене (Multifunctional Electromagnetic Radiation Systems, MERS), број антена сведе на само једну. МЕРС антена мора бити и електрички и механички реконфигуративна ради покривања широког фреквенцијског опсега реда 1:100. То се не може постићи посредством тзв. фреквенцијско-независних антена, типа логаритамски периодичне антене, или логаритамске спирале. Идеја је следећа: планарна антена са дискретним низом дипола (што се сматра главним кандидатом за МЕРС) фреквенцијски је зависна, како у погледу улазне импедансе, тако и у погледу облика дијаграма зрачења. Диполи морају бити приближно једнаки половини таласне дужине. За више фреквенције њихова дужина је реда сантиметра, а за ниже реда дециметра. Са преласком са вишег на нижи опсег предвиђа се реконфигурација антене спајањем одговарајућег броја суседних дипола у нову планарну антену, која би имала одговарајуће дужине дипола. То захтева изузетна механичка решења, а ради се на томе да се то обавља електронским путем, посредством прекидачких PIN диода, распоређених дуж дипола са највећим димензијама. Програмираним активирањем појединих диода може се програмирано смањити њихова дужина. Код МЕРС реконфигурационих антена јавља се и проблем мреже напајања антенских елемената, која је такође фреквенцијски зависна. Компанија Sanders већ је демонстрирала неке варијанте МЕРС антене, која ће наћи примену на летилицама са смањеном ЕРП. Уколико авион није произведен у стелт технологији, може се користити адаптивна радио-прозрачна капа антене, тзв. smart radome, на чему се такође интензивно ради. Циљ је да се капа учини транспарентном за фреквенције сопственог радара, коришћењем резонантних појава на металној решетки утканој у капу, а да буде рефлективан, попут металног оклопа, за друге фреквенције. Смањење рефлексија од оваквог оклопа врши се његовим обликовањем ради расипања таласа, што се, уосталом, врши и код класичног радара, због аеродинамике носача авиона. У следећој декади истраживаће се и могућност тзв. активног поништавања (active cancelation) рефлектованог сигнала генерисањем његове противфазне реплике.

Захваљујући ангажовању руских радарских стручњака осматрачки радарски као и радарски са фазирајућом решетком су израђени на бази активних елемената и полупроводничке технологије (Active Electronically Steered Arrays AESA). Ти системи омогућавају веома агилно електронско усмеравање радарског снопа, избегавање ометања, прилагодљиву расподелу предајне снаге, од веома ниског нивоа интензитета зрачења до обмањивања система за откривање зрачења и трагача из противрадарских ракета. Сви нови кинески радарски системи имају уграђене системе са фазирајућом решетком. Значајна предност радара са фазирајућом решетком је да омогућавају велику брзину промене угла радарског снопа и праћење више циљева одједном. Овај приступ не само да повећава могућности ПВО система, већ и уклања разлику између радара за навођење и осматрачких радара. Уколико нека издвојена батерија ПВО прима податке о трајекторији циља од осматрачког радара са фазирајућом решетком који ради у VHF подручју и који је увезан са радаром за навођење који ради у X подручју, оба могу бити радарски за навођење те батерије. Неизбежне дугорочне тенденције радарских дизајнера су да ће се они кретати ка технологији са активним решеткама (AESA) чији крајњи резултат је побољшашње перформанси радарског сигнала.

Фазиране антенске решетки са електронским управљањем дијаграмом зрачења омогућиле су конструкцију вишенамених радара (слика 5). Такви системи данас омогућавају да се само помоћу једног радара и помоћу једне антене врши осматрање, откривање и легитимисање, а затим праћење, одређивање свих координата циља у простору, те лансирање и вођење ракета на циљ. Дobar пример је РС ПВД „ОСА“, у којем се користи 9 класичних антена за обављање потребних функција, док наследник тог система РС ПВД „ТОР“, захваљујући примени фазираних антенских решетки, има само три: мултифункционалну антену за нишански радар и радаре за вођење ракета, антену за тродимензионални осматрачко-аквизицијски радар и антену радара за легитимисање циља.

То је омогућено електронском комулацијом снопова, при чему радни циклус једне функције траје само неколико милисекунди. Интересантно је да се са таквим антенама може постићи висока усмереност и висока способност просторног раздвајања циљева, уз минималан ниво бочних ле-

пеза. Осим тога, може се остварити адаптација формирањем нула у дијаграму зрачења у смеру сметњи, а максимума у смеру корисног сигнала. Један од недостатака антена, а тиме и радара са електронским претраживањем, јесте потреба за високом стабилношћу фреквенције предајника и закашњавајућих водова који се тамо користе. Ако се ови захтеви не испуне, губи се ефекат високе усмерености или,

чак, усмереност може бити потпуно анулирана. Када се примењују фреквенцијски агилни радарни потребно је имати на уму да се са сваком фреквенцијом мења облик дијаграма зрачења (ширина главне лепезе, ниво бочних лепеза и сл.). Недостатак је и висока цена и сложеност израде.

Будући радарни ће располагати активним антенским модулима који ће формирати планарну фазирану решетку са агилним



Слика 5 – ARABEL
мултифункционални радар
PC ASTER 30 – SAMP/T

или вишеструким сноповима, са кодираним фреквенцијама у сваком снопу и са адаптивним постављањем нула у правцима више ометача. То ће омогућити, с једне стране, битно повећање енергетског потенцијала радара, односно ефективне зрачне снаге (која расте са квадратом броја активних модула), а са друге стране, програмирану промену фреквенције у различитим положајима снопа (или снопова), што ће довести до збуњености на ометачкој страни. Као што је већ наглашено, повећање ефективне зрачене снаге је ефикасан начин за повећање самозаштитног домета радара. Такође, искључење појединих снопова или избегавање појединих праваца као заштитна мера, неће много деградирати перформансе радара. За авионске радаре од посебног је значаја развој монолитних микроталасних интегрисаних кола (monolithic microwave integrated-circuit MMIC) заснованих на GaAs технологији у реализацији оваквих антена. То ће бити од посебног значаја за авионске вишефункционалне радаре. Охрабрујући резултати су

већ остварени на радару АН/АПГ-77 авиона Ф-22 Raptor, а циљ ове нове технологије је повећање функционалности уз смањење величине, цене коштања и потрошње електричне енергије. Галијум-арсенид као замена за силицијум у изради чипова је скуп и веома ефикасан полупроводник који може убрзати рачунарске чипове. Подлоге за рачунарске чипове се најчешће праве од силицијума чистоће 99,999 % који има скоро савршену структуру кристала. Проблем са силицијумом је што лако пуца ако је превише танак. Због тога се код подлога већег пречника мора повећати и њихова дебљина, што увећава трошкове производње чипова. Пошто се подлоге секу помоћу fine жице, могућа је појава несавршености које се касније третирају хемијским путем, што такође увећава трошкове. Истраживачи су осмислили технику којом слојеве танког филма полупроводника формирају директно на подлози, тј. базу, чија дебљина износи од неколико стотина нанометара до неколико микрометара. На тај начин се добија матери-



јал који је јефтинији, али и ефикаснији за израду чипова. Користећи ову технику научници су успешно израдили чипове, соларне ћелије и инфрацрвене камере, а такође се може применити и за израду рачунарских чипова, што ће снизити њихову цену и повећати брзину рачунара.

Померање фреквенцијског подручја рада

На крају хладног рата предност коју су имале компактне антене које раде у S фреквенцијском подручју (2-4 GHz), замењене су пројектима који раде у L (1-2 GHz) и VHF (0,1-0,25 GHz) фреквенцијском подручју. Од 6 руских савремених аквизицијских радара, само један ради у S подручју док остали раде у L и VHF фреквенцијском подручју. Предност за рад на нижим фреквенцијским подручјима је због могућности откривања летелица конструисаних у стелт технологији и премазима прилагођеним за претње у S и X подручјима, али такође и због заштите од електронског ометања, јер већина система не може ометати радаре испод S подручја због ограничења са величином антене. Након откривања и обарања „невидљивог“ бомбардера *Ф-117А* изнад Србије 1999. године поново су актуелизовани радар П-18 Spoon Rest руске производње, који раде на нижим фреквенцијским под-

ручјима (метарском). Тако је развијена мобилна осматрачко- аквизицијска радарска станица 1L119 НЕБО-СВУ, на бази савремене полупроводничке технологије са активном фазирајућом решетком која може ефикасно да открива савремену стратегијску и тактичку авијацију са малом радарском рефлексном површином, а ни су предмет напада са противрадарским ракетама (слика 6). Прецизност праћења циљева радара НЕБО-СВУ је 200 метара по даљини, 0,5° по азимуту и 1,5° по елевацији, тако да може да се користи и као аквизицијски радар за ПВО системе *S-300PMU-1/2* и *S-400*.

Развој америчког стратешког бомбардера Б-2 био је једна од највећих државних тајни у САД, рађен по програму АТВ (Advanced Technology Bomber). Његова конструкција је сасвим необичног изгледа, па јој је дат и надимак „летеће крило“. Избегнути су оштри прелази између појединих површина, изостављене су вертикалне репне површине, а силуета авиона гледана са бочне стране веома је уска, али без оштрих ивица, на којима би дошло до ефекта тзв. дифракције таласа на ивици ребра. Поред тога, велика пажња је посвећена и смањењу ИЦ зрачења услед високе температуре на издувним цевима, па се ради тога врши хлађење. Такође је битно смањена јонизација околног ваздуха, јер се испоставило да јонизовани ваздух иза летелице у извесној мери рефлектује радар-



Слика 6 – Зона ефикасне примене STEALTH технологије и противрадарских ракета

Слика 7 – Stealth авиони F-22 Raptor

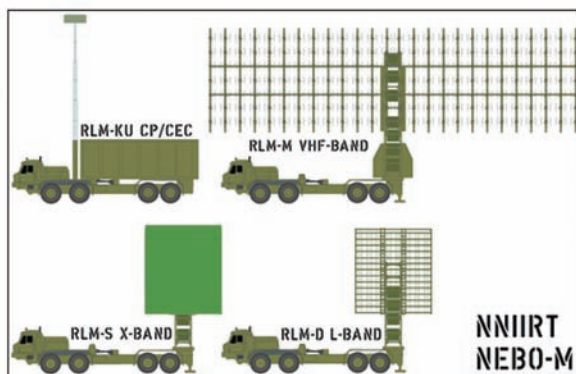


ске таласе. Стратешки бомбардер Б-2 намењен је за уништавање мобилних рампи за лансирање интерконтиненталних ракета и подземних командних места. Долет му је, без допуњавања горива, 9200 km, а носивост убојних средстава до 16 тона. Наоружан је са 16 ракета АГМ-131 СРАМ, или 16 крстарелих ракета типа АГМ-109, односно 16 авионских бомби типа Б-83. Бојеве главе свих ових оружја могу бити и нуклеарне. Интересантно је уочити како се прогресивно смањивала ЕРП америчких стратешких бомбардера. Док Б-52 има ЕРП 60 m², Б1-А има 6 m², Б1-Б, 0,6 m², а авион Б-2 само 0,06 m². То значи да је смањење за сваку генерацију било у односу 1:10.

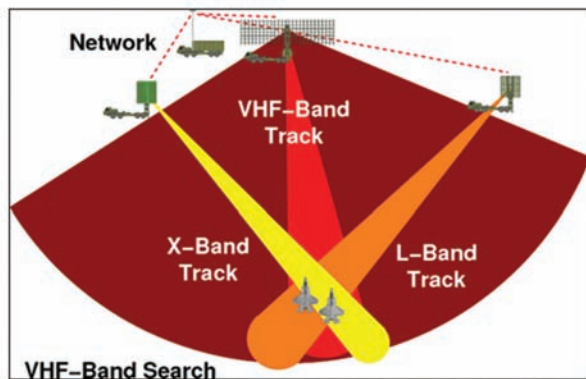
Стелт технологија биће даља преокупација у истраживању и развоју. Велики значај у том смислу придаје се новом америчком стелт авиону Ф-22 Raptor (слика 7), где се, поред осталог, решава и проблем осматрања без укључења радара, како не би зрачењем одавао своје присуство. Користи се бистатички принцип са предајником на другој, удаљеној платформи, на пример на АИWACS-у и пријемником на самој платформи. Предајник обасјава одређени простор, а пријемник на Ф-22 прима рефлектоване сигнале и уз помоћ одговарајућег софтвера обезбеђује осматрачку функцију без

укључења сопственог радара. Авион Ф-22 има и сопствени радар типа AN/APG-77, где се користи фазирана антенска решетка изведена у ММІС технологији, као први пример такве авионске антене у свету. Авион Ф-22 замениће током следеће декаде донекле застареле Ф-15. Узгред, предвиђа се да нови авион Ф-35 Joint Stricke Fighter (JSF) треба да замени авионе Ф-16, Ф-18 и Harrier. Такође се предвиђа да се већ застарели извиђачки авион У-2 замени стелт беспилотном летилицом RQ-3 Dark Star, која је способна да полети, одлети до одредишта, укључи сензоре по потреби, пошаље информације, врати се у базу и слети, без људске интервенције, тј. потпуно аутономно. Способна је да ради на великим висинама и у веома добро брањеном ваздушном простору, за разлику од RQ-4 Global Hawk.

У развијеним земљама предвиђа се комплетирање мреже бистатичких радара, која је још недовољно заступљена. То је веома обиман и скуп подухват који захтева још дуг период проучавања ради налажења оптималних конфигурација система. Мрежа бистатичких радара мора бити подржана брзим рачунарима, како би се у реалном времену могле контролисати методе претраживања, мерење координата, корелација података, зоне откривања и сл.,



Слика 8а – Компоненте система НЕБО-М



Слика 8б – Фреквенцијско подручје рада система

што је све знатно сложеније него код моностатичких радара.

Као одговор на производњу америчког вишенаменског ловца *F-35* руски произвођач тродимензионалних радарских система NNIIRT је комбиновањем више различитих типова радара покрио неколико фреквенцијских подручја рада. Тако је у систему НЕБО-М укључио три радара и то: НЕБО-СВУ који ради у VHF подручју, противник Г у L подручју и гама С1 у S/X-подручју (слика 8а и 8б).

Освајање милиметарског подручја такође је једна од важних тенденција у следећој декади. Истина, и данас постоје многи уређаји који раде у милиметарском подручју, нпр. у главама за радарско самонавођење, али је снага предајника још увек недовољна за реализацију радара већег домета, важним за откривање стелт авиона, беспилотних летилица и др., као и ради остварења максималне резолуције по углу, где је то потребно. Главно ограничење у овом подручју је слабљење у атмосфери, што се у будућности може ублажити развојем снажних предајника.

На технолошком нивоу у наредној декади могу се очекивати следеће тенденције развоја: масовно коришћење GaAs технологије у реализацији антена (MMIC), технологија са површинским акустичким таласима SAW (Surface Acoustic Wave) и магнетостатичким површинским таласима MSW (Magnetostatic Surface Wave) у реализацији вишеканалних пријемника (channeled receiver), који имају низ предности у односу на друге типове пријемника. Главна ограничења односила су се на број канала, што у класичној технологији није могло бити превазиђено. Истина и данас се доста користи SAW технологија, али још увек фреквенцијски опсег не задовољава потребе рада на вишим радарским фреквенцијама, нпр. Ku (подручје је од 12 до 18

GHz) и Ka (подручје је од 27 до 40 GHz) опсега, па се мора прибећи конверзијама. Добар пример употребе ових фреквенцијских подручја је код ракете PAC-3 из система *Patriot* или *MEADS* и ракете *Aster 30* система SAMP/T чија намена је гађање балистичких пројектила. Уништавање циљева директним поготком (без бојеве главе) – систем „hit to kill“ захтева знатно повећање прецизности. То је постигнуто уградњом активног радарског система самонавођења. Контрола лета врши се помоћу инерционог навигацијског система и аеродинамичких контролних површина на крају пројектила (управљање вектором потиска). Пре директног поготка у циљ укључује се активни радарски систем који код ракете PAC-3 ради у K (подручје је од 18 до 27 GHz) фреквенцијском подручју, а код ракете *Aster 30* у Ku (подручје је од 12 до 18 GHz).

У наредним годинама, међутим, очекује се продор у највиша радарска подручја, што се посебно односи на MSW технологију. Што се тиче броја канала, развој ће омогућити стотине канала са релативно малим димензијама, тежином и ценом. У густом радарском саобраћају веома је битна резолуција по фреквенцији, па се у будућности очекује даљи технолошки развој компресивних (microscan) пријемника, базираних на дисперзионим водовима у технологији на бази површинских акустичких таласа (SAW). Очекују се мултиактивни компресивни пријемници са резолуцијом бољом од 1 MHz на вишим радарским фреквенцијама.

Примена дигиталне обраде података и сигнала

Глобално светско тржиште за компјутерску опрему и постојање програма са отвореним софтвером искористили су конструктори руских радарских и средстава

ПВО за употребу компјутерске опреме за дигиталну обраду сигнала и отвореног софтвера за обраду података као што су Linux оперативни систем и C/C++ програмски језик. Ова тенденција састоји се од дигиталне обраде сигнала, преноса података, графичког приказа обраде података, умрежавање података и обрада података на командном месту. Постојање напредних компјутерских компоненти са висококвалитетним перформансама погодним за примену и уградњу допринели су једном од највећих технолошких напредака у конструкцији и модернизацији радарских и ПВО система. Доступност компјутерске опреме за дигиталну обраду података и постојање програма са отвореним софтвером били су основа за увођење алгоритама и техника за напредну обраду сигнала и података, који су били доступни само радарима који су били пројектовани на Западу.

Повећање брзине А/Д конвертора и дигиталних сигналних процесора омогућава да се дигитална обрада сигнала врши директно на међуфреквенцији (МФ), па чак и на радио- фреквенцији (РФ), без потребе преласка у основни (видео) опсег. Из међуфреквенције, а поготову из РФ сигнала, може се извући више информација, које се након детекције губе. То се остварује тзв. дигиталним пријемницима, који се већ користе при модернизацији старијих генерација радара (П-12, П-18, итд.), а предстоји им перспективна будућност, што се већ показало са унапређеним дигиталним пријемницима (Advance Digital Receiver ADC). Даље усавршавање алгоритама за мултипараметарско издвајање радарских пакета, њихово сортирање и класификација веoma су важан аспект електронског извиђања. То ће омогућити успешнији и бржи рад у условима све гушћег радарског саобра-



ћаја. У будућности се мора рачунати на густину од милион и више импулса у секунди, што је велики изазов, како за саме алгоритме рада, тако и за брзину рада процесора и рачунара. У блиској будућности очекује се масовно коришћење у извиђачким пријемницима принципа дигиталног спектралног естиматора, који се данас са успехом примењује на нижим фреквенцијама за екстракцију синусоидног сигнала из шума. Главно ограничење је и овде брзина А/Д конвертора, што ће бити и главна тенденција развоја.

У области обраде радарских сигнала уочава се тенденција развоја специјализованих процесора сигнала у виду чипа, уместо софтверске реализације обраде посредством микропроцесора и рачунара опште намене. Специјализовани процесори сигнала могу бити дигитални, аналогни или хибридни (комбиновани). У области ди-

гиталних процесора сигнала (DSP) у радарској техници посебно треба истаћи чипове за компресију радарских импулса методом конволуције, што се обавља знатно брже од чисто софтверске конволуције. Такође, треба истаћи развој процесорског чипа за Доплерово процесирање у СПЦ системима, коришћењем алгоритма брзе Фуријеове трансформације (ФФТ). Предвиђа се развој веома брзих DSP чипова за реализацију трансверзалних филтара са коначним импулсним одзивом (Finite Impulse Response FIR) и филтара са повратним спрегама, тзв. филтри са бесконачним импулсним одзивом (Infinite Impulse Response IIR). Сваки DSP у принципу се састоји од хардверских множача (што је важан фактор брзине), аритметичко-логичке јединице и меморије. Иако је сличан микропроцесору опште намене, разликује се од њега у погледу брзине рада, јер се може оптимизирати за специјалне примене. Предвиђа се да се у релативно кратком времену развије DSP са 1024 тачке комплексне ФФТ, трајања 1 милисекунде. Нове генерације DSP процесора остварују веће брзине од претходних, захваљујући тзв. Harvard архитектури уместо претходне Neuman архитектуре. Наиме, са Neuman архитектуром инструкције и подаци се смештају у исту меморију, па се њима приступа сукцесивно. У новој Харвард архитектури инструкције и подаци се чувају у посебним меморијама, па се њима приступа симултано, што знатно убрзава процесе. Такође, предвиђа се реализација паралелног рада више DSP чипова, што ће повећати брзину операција.

И убудуће ће још увек аналогно процесирање имати своје место у обради радарских сигнала и поред великог напретка у области DSP. То се посебно односи на широкопојасну (реда 500 MHz) линеарну фреквенцијску (chirp) експанзију предајног и компресију ехо сигнала, где се SAW технологијом може знатно једноставније и брже остварити потребно процесирање него са DSP. Посебно место у будућем развоју припада хибридним програмабилним процесорима у виду монолитног SAW конволвера. Процес се одвија на тај начин што се реплика предајног сигнала помоћу А/Д конвертора памти у дигиталној меморији, што не захтева посебну брзину, а затим се у SAW конволверу обавља конволуција са рефлектованим сигналом. У реализацији трансверзалних филтара предвиђа се у будућности масовније коришћење CCD (Charged Coupled Devices) и CTD (Charged Tran-



sver Devices) технологија. Ови чипови у потпуности могу заменити дигиталне филтре уколико се не тражи превише велик динамички опсег сигнала (на пример, не већи од 50 dB). Због изузетно мале потрошње и тежине CCD процесори су погодни за уградњу у лаким пројектилима. Предвиђа се да CCD филтри могу остварити прецизнију спектралну анализу у домену Доплерових фреквенција него ФФТ процесори.

Међу аналогним методама обраде важно место у будућности заузеће оптичке методе обраде. Једна од главних предности оптичких метода је у чињеници да су обраде сигнала дводимензионалне, за разлику од електронских аналогних метода, где се ради само о једној променљивој, тј. времену. Основни принцип рада оптичког процесора заснива се на чињеници да су расподеле светла у предњој и задњој фокалној равни оптичког сочива везане дводимензионалном Фуријеовом трансформацијом. Ако извор кохерентног оптичког сигнала преко колиматора обасјава транспарентну равну плочу, са коефицијентом прозачности датим функцијом $f_1(x_1, y_1)$, која је постављена у предњој фокалној равни сочива, тада ће се, након проласка светлости кроз сочиво у његовој задњој фокалној равни, формирати расподела светлосног интензитета дата функцијом $f_2(x_2, y_2)$, која представља дводимензионалну Фуријеову трансформацију функције $f_1(x_1, y_1)$. На основу те особине могу се замислити веома различите примене оптичке обраде сигнала, где се захтева Фуријеова трансформација. На пример, једна од важних примена је у извиђачком пријемнику са Bragg-овим ћелијама. Друга изузетно важна примена је код формирања слике терена помоћу радара са синтетичком (SAR) антенном. Са напретком ласерске технологије, неопходне за генерисање кохерентних оптичких сигнала, димензије и тежине оптичких процесора постају сасвим прихватљиве, чак и за авионске уређаје и уређаје у пројектилима. Основна предност оптичке обраде је дводимензионалност и велика брзина рада, што јој обезбеђује будућност.

Наглашено је већ да централно место у дигиталној обради сигнала заузимају ФФТ процесори. С обзиром на то да је одзив ФФТ процесора еквивалентан банци филтара, то је хардверска банка филтара један од главних конкурената софтверском (или хардверско-софтверском) ФФТ процесору. Проблем је доскора био у чињеници да је банка филтара знатно робустнија од

ФФТ процесора, па је примењивана само на местима где се не захтева велики број филтара или где простор није критичан. На пример, у првој верзији радара у РС за ПВД „бук“, који је директни наследник РС за ПВД „куб“, примењена је доста квалитетна робустна банка филтара која није могла бити мала по димензијама. Са увођењем SAW и CCD технологије ствари се мењају, тако да се може очекивати да ће чак и ФФТ процесор у 1024 тачке имати конкуренцију у аналогној банци Доплерових филтара. Једна од важних улога ФФТ процесора је софтверска реализација прилагођених филтара. Наиме, на улазни сигнал, након А/Д конверзије, примењује се ФФТ у одређеном броју тачака. Затим се трансформисани одбирци множе тежинским коефицијентима филтра и на крају се примењује инверзна трансформација ИФФТ. На тај начин је однос излаза према улазу еквивалентан преносној карактеристици прилагођеног филтра. Иако овај поступак изгледа сложенији него директна корелација референтног и улазног сигнала, ипак се она брже обавља оваквим индиректним поступком, захваљујући новим алгоритмима ФФТ трансформације. Класичан корелатор захтева знатно већи број операција множења. Поступак је и врло еластичан, јер се изменом тежинских коефицијената филтра могу реализовати брзи адаптивни системи. Очекује се појава оваквог процесора у виду чипа.

Примена одбрамбених противмера и обмањивање – противелектронска заштита

Електронско извиђање терена може се, према домену у којем се обавља, поделити на извиђање у оптичком домену и извиђање у електромагнетском домену. Извиђање у оптичком домену обухвата видљиви део спектра и инфрацрвени део спектра. У видљивом делу спектра доминирају аерофото-снимци, који се могу добити на два начина: коришћењем класичне камере и филма и коришћењем електрооптичке камере. У овом делу спектра важно место заузимају и сателитски снимци (фотографије). Инфрацрвени сензори стварају слику на основу разлике у спектру инфрацрвеног зрачења које емитује циљ и околина услед различитих температурних стања. Најчешће се снимци у овом делу спектра добијају са линијским скенером у инфрацрвеном подручју.

Извиђање у електромагнетском домену може се успешно обављати и при не-

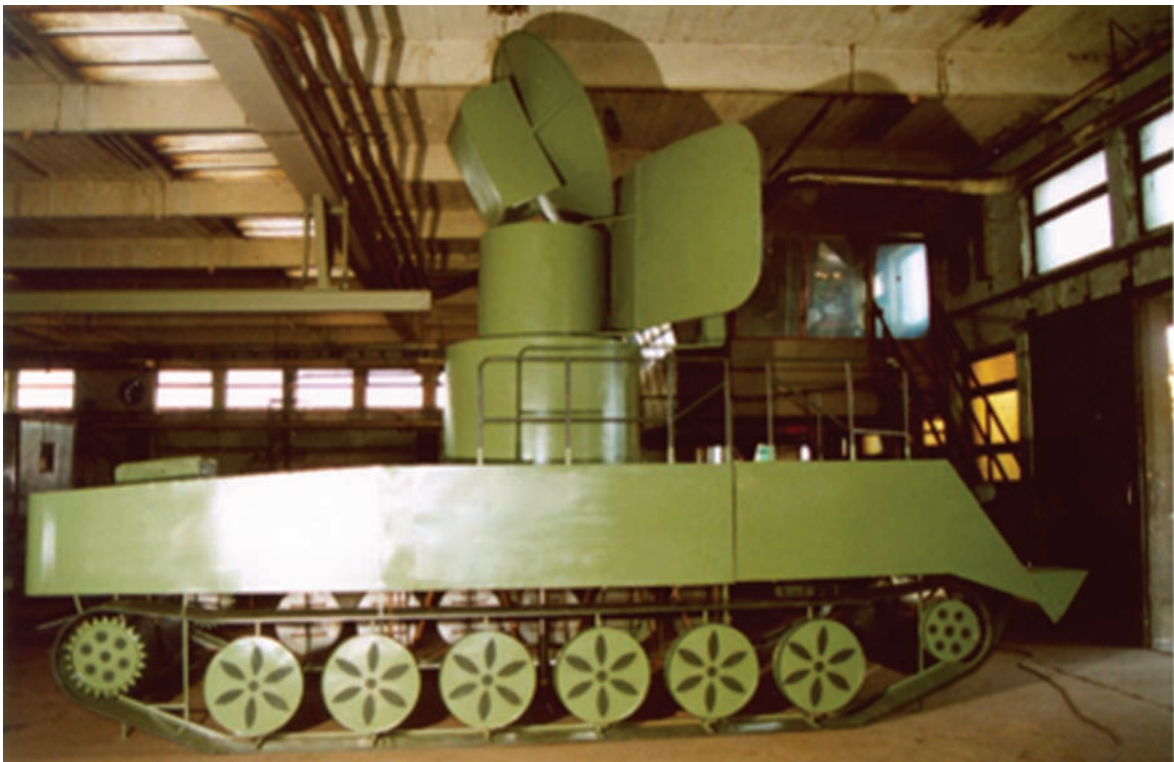
повољним атмосферским условима и независно је од доба дана. Највише је заступљено радарско извиђање које се обавља класичним авионским радарима и радарима са синтетизованом антенном (SAR радари). Најважније платформе са којих се врши извиђање SAR радаром су авиони *U-2* и *E-8C*, беспилотне летелице (*Predator*) и извиђачки сателити *KH-12 Lacrosse* и *KH-13 8X*.

У начелу, маскирање је пасивна активност. Састоји се од сакривања, прикривања и обмањивања. Сакривањем се постиже „невидљивост“ на свим удаљеностима, а прикривањем делимична сакривеност на већим удаљеностима, уз немогућност препознавања. Обмањивањем се лажним циљевима или активностима приказује лажна ситуација. Активним мерама такође се постиже функција заштите, односно прикривање и обмањивање. Активним ометањима и обмањивањима у радарском и оптичком домену могуће је смањити домет сензора, створити лажне циљеве и слично. Мере које се користе у току реализације активности маскирања су: смањење прозирности атмосфере, смањење сопственог топлотног зрачења, лажни топлотни циљеви (мамци), противрадарско маскирање, повећање и смањење радарске ви-

дљивости, активно противрадарско маскирање и др.

Макете и имитатори су за време агресије НАТО-а 1999. године израђивани капацитетима Војске, као и капацитетима цивилних предузећа. У првој фази рађене су макете средстава која се налазе у наоружању Војске (тенкови, артиљерија, ПВО системи), а у наредним фазама рађене су и макете средстава које се не налазе у наоружању Војске (*C-300*, *СМЕРЧ*), електронски имитатори и разне врсте аеростата. За израду макета коришћени су материјали који имају велику радарску видљивост, али и отпадни материјали (војничке касете, стари пнеуматици, пластичне кутије – тетрапаци и др.). Ракетне јединице за ПВД су, поред елемената лажних ватрених положаја: макета *ПОСт-а C-125* система „*Нева*“ или *РСтОН-а 1С91М* система „*КУБ*“ (слика 9), макета лансирних рампи, пасивних рефлектора, итд., постављале и имитаторе радарског зрачења, кварцне грејалице и друга приручна средства.

Команда НАТО-а је на конференцији за штампу, 10. јуна 1999. године, на дан када је потписан Кумановски споразум, саопштила да је само на простору Косова и Метохије, за 78 дана бомбардовања, уништено 110 тенкова, 200 оклопних тран-



Слика 9 – Макета *РСтОН 1С912М2* израђена за време агресије НАТО-а 1999. године



спортера и 545 артиљеријских оруђа Треће армије. Пред многобројним ТВ екипама које су их пратиле с поносом су наглашавали да „српска војска нема шта од ратне технике да повуче са Косова“. Тврдили су да су 50 одсто од 23.000 бомби, колико је укупно бачено на Србију, „погодиле циљеве на Косову“. Њихови извештаји су говорили да је прецизност НАТО бомби износила чак 99,6%. Међутим, када су команданти српских јединица, пред њиховим очима у наредних неколико дана са Космета повукли готово сву ратну технику, НАТО команданти су се нашли у чуду. Питали су се шта су онда они током агресије гађали и „погађали“, где је била сва та силна техника, како је скривана од најмоћније електронске опреме у „аваксима“, шпијунским беспилотним летилицама и другим НАТО авионима?

Радио-фреквенцијско емитовање мамаца намењених за навлачење противрадарских ракета данас се нуди на већини руских радара, од којих су многи обухватили интеграцију да би синхронизовали зрачење са вишеструким мамцима. Ови мамци су део понуде ПВО система, укључујући С-300ПМУ/С-400. Неки руски радарски нуде веома свестране противмере, као што су генератори дима за борбу против ласерски и телевизијски вођеног оружја, бљескалице за борбу против паметног инфрацрвеног

вођеног оружја и распрскивач лажних циљева (мамаца) за борбу против вођеног оружја који раде у милиметарском подручју. Усавршавање технике генерисања лажних циљева, како би они били што сличнији реалним ехо сигнаlima, захтева софистицирану обраду примљених радарских сигнала и брзо формирање њихове реплике. Лажни циљеве би се појављивали на различитим азимутима и са програмски задатом трајекторијом и брзином кретања. Истина, и данас се користе репетиторски ометачи са меморијском петљом, али су такве методе генерисања лажних циљева још увек недовољно ефикасне и често препознатљиве, што није прави смисао оваквог начина ометања.

Потреба за конструкцијом и оптимизацијом ПВО система кратког домета, где се на једном борбеном возилу налазе сви подсистеми неопходни за извршење гађања, са високим степеном покретљивости и ефикасности, појавила се деведесетих година прошлог века са задатком заштите ПВО батерија великог домета. Ова тенденција се поново појачала након развоја оружја високе прецизности, чиме су на значају добили веома мобилни и ефикасни ПВО системи попут *тор М2Е/СА-15* и *панцир-С1/СА-22*. Намера ових система је борба против крстарећих ракета, противрадарских ракета и друге вођене муни-

ције коју користи СЕАД/ДЕАД авијација у борби против батерија ПВО. Оба ова ракетна система опремљена су са веома агилним радарима са фазирајућим решеткама који могу пратити и гађати истовремено већи број циљева одједном.

Интеграција и хибридикација ПВО система

На нивоу уређаја за следећу деценију уочава се једна интересантна и рационална тенденција, а то је модернизација (upgrade) постојећих, релативно застарелих система, уместо њихове комплетне замене новим системима. Тиме се век постојећих система продужава за више година. Најчешће се модернизација обавља додатком савремених, брзих дигиталних процесора сигнала, рачунара и магистрала података, без битне промене инфраструктуре. Тиме се постиже могућност интеграције појединих компоненти у систем са много већим могућностима. У доступној литератури може се наћи велики број примера модернизације радара, ометача, средстава ПВО и сл., у виду тзв. нових варијанти техничких решења. У том смислу, једна од тенденција развоја у следећој деценији је строго вођење рачуна о модуларности, унификацији и замењивости, што захтева отворену архитектуру система доступну накнадној доградњи.

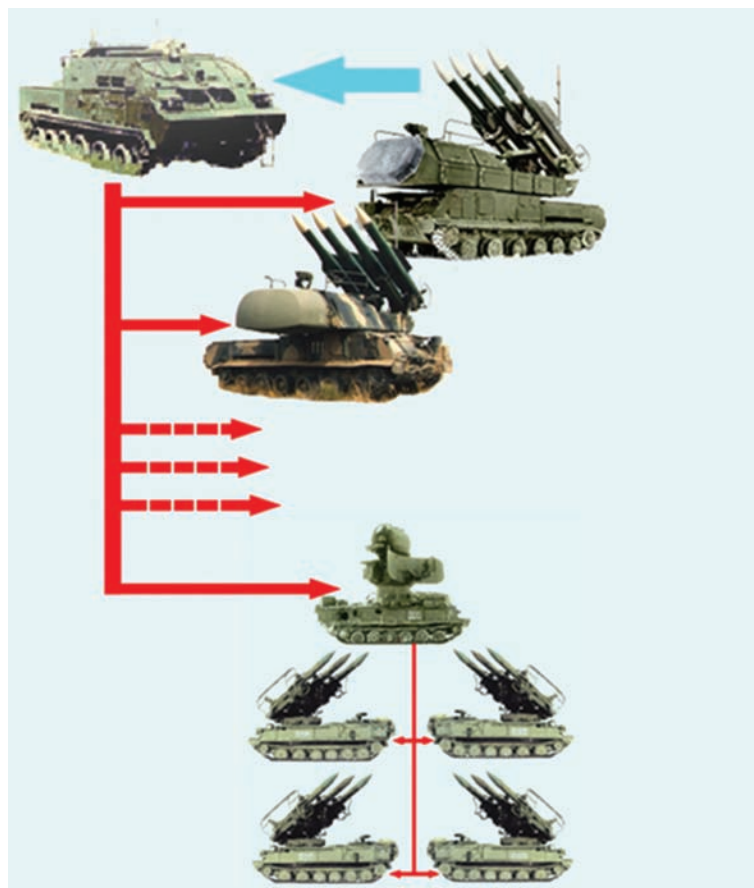
Хибридикација ПВО система, где су старији системи подржани са системима новије технологије представља компатибилност сродних ПВО система и оружја. Два најбоља примера су ПВО системи КУБ/СА-6 и БУК/СА-11 где се радаром за навођење СОУ 9А317 из система БУК могу водити ракете 3М9М3Е из система КУБ (слика 10). Могућа је интеграција радарске станице за осматрање и навођење РСТОН 1С91М2 из система КУБ са ракетом 9М317 из система БУК М1-2 и М2 (неопходна адаптација и модернизација СЛО 2П25М2 – прерада лансера за лансирање две ракете и модернизација аналогног рачунара и система телекодне везе). Такође, могућа је интеграција са авионским ракетама РВВ-АЕ (Р-77) коју користе авиони типа МиГ и Су, као што су МиГ-29СД (СЭ, СМ, М), Су-35, Су-37, МиГ-31М и др. Ове ракете користе комбиновано вођење (инерцијно са радио-корекцијом и активно у завршној фази лета), развијају брзину до 4 Маха и имају максимални домет до 80 км (при лансирању из авиона, а за употребу у ракетном систему домет би био мањи). Тако-

ђе, могућа је интеграција са неким другим сличним авионским ракетама (Р-27, Р-60, Р-73 и сл.). Ове модификације руских произвођача са авионским ракетама ваздух-ваздух за сада су познати само као пројекти који још увек нису објављени нити приказани за јавност.

Такође, радаром за навођење 30Н6 Томб Стоне система СА-20 могу се водити ракете 5В55 система СА-10. Скорашња тенденција је хибридикација разноликих ПВО система, где модерни радар са фазирајућим решеткама добијају могућност за вођење других и старијих генерација ракета. Најбољи примери су ПВО системи СА-20/21 који имају могућност контроле радара за осветљавање Square Pair система ВЕГА/СА-5 и појава интеграције кинеских ПВО система са ракетама система СА-2/НҚ-2 са новим развијеним радаром Н-200 са фазирајућом решетком из ПВО система ХҚ-12/КС-1А.

Исти принцип примењују и Американци, тј. њихова модернизована верзија ПВО система НАВК која се назива НАВК XXI (НАВК 21). Импулсни (Pulse Acquisition Ra-

Слика 10 – Могућности интеграције РС КУБ и БУК



dar PAR) и континуални (Continuous Wave Acquisition Radar CWAR) радари замењени су са 3D радаром MPQ-64 који омогућава откривање циљева на свим висинама и обједињује добре карактеристике радара које замењује. Уведено је ново командно возило (Fire Distribution Center FDC) норвешке компаније Kongsberg које има могућност повезивања са лансерима ракета SLAMRAAM (Surface launched AMRAAM – прилагођене за лансирање са земље) и у правом смислу представља C4I (Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) командни центар модуларног дизајна, прошириве конфигурације и високог степена флексибилности. Додавањем лансера ракета SL-AMRAAM (на постојеће лансере ракета HAWK или на лансере са посебних возила) знатно се уна-

пређују ватрене могућности и могућности у погледу пресретања циљева типа крстарећих ракета и беспилотних летелица. Ову фазу модернизованог система прихватила је Румунија и у току је увођење у оперативну употребу.

Овај начин употребе ракета ваздух-ваздух, прилагођене за лансирање са земље, постао је тенденција у све више држава. Тако су Норвежани искористили исту ракету AMRAAM AIM-120 и развили РС за ПВД под називом NASAMS. Овај ПВО систем развила је норвешка компанија „Norsk Forsvarteknologi“ (данас Kongsberg Defence & Aerospace) у сарадњи са америчком фирмом „Hughes Aircraft Company“ (данас Raytheon). Осматрачко-аквизицијски 3Д радар са електронским претраживањем AN/TPQ-36 Firefinder ради у X опсегу. Видно поље радара је 360°



по правцу и 10° до 55° по елевацији. Циљ величине ловца открива на даљинама од око 40 км, а крајњи домет је око 75 км. Изузетно је отпоран на електронско ометање, а непријатељске авионе – ометаче може да открива и прати у пасивном режиму.

Један од ПВО система развијених на сличном принципу је и израелски Spyder. Предузеће Rafael првобитно је развила Spyder као мобилни ПВО систем малог домета, највише намењен одбрани трупа на бојишту, али и продаји купцима мање платежне моћи. Временом је Spyder прерастао у прави ПВО систем средњег домета максималног домета 50 километара и 16 километара у висину. Специфичност Spydera је да користи две врсте вођених пројектила. За веће удаљености користи вођене ракете ваздух-ваздух Derby које имају активно радарско самонавођење. За мање удаљености користи се прилагођени пројектил ваздух-ваздух малог домета Python 5 са инфрацрвеним системом самонавођења. Због тога се цели систем зове Surface-to-air Python and Derby или скраћено Spyder.

Spada 2000 је високоаутоматизован систем ПВО развијен за употребу у свим временским условима у MBDA (бивши Alenia Marconi Systems). Систем обезбеђује кратко време реакције и смањење броја оператора за управљање системом. Јединица може радити независно или може бити интегрисана у заједнички систем ПВО. Spada

2000 се користи у италијанском и шпанском ваздухопловству. Представља унапређену верзију система ПВО који обезбеђује значајна оперативна и технолошка унапређења, укључујући повећање ватрене моћи, домета и могућност координације са другим ПВО системима. Вероватноћа уништења циља је висока, чак и против веома брзих циљева. Spada 2000 је модулarna и интегрисана у јединице, које омогућавају високу тактичку и стратешку мобилност. Сваки лансер ракета има 6 ракета Aspide спремних за лансирање. Тип радара је Selex Sistemi Integrati RAC-3D (бивши Alenia Marconi Systems) који даје тродимензионалну слику ваздушне ситуације, откривање и праћење до 100 циљева једновремено, домета 60 километара. Радар може радити у окружењу са јаким електронском непријатељском активношћу и веома је робустан у борби са електронским сметњама и противелектронској борби. Радар обезбеђује контролу исијавања, лоцирање ометача, псеудослучајну фреквентну агилност и кодирани облик сигнала.

Француско-италијанска компанија MBDA је развила још један сличан ПВО систем MICA са вертикалним лансирањем истоимене ракете ваздух-ваздух са авио-



на типа *Rafale* и *Mirage 2000*. Постоје две верзије ракете MICA RA (са активним радарским самонавођењем) и MICA IR (са инфрацрвеним самонавођењем) које користе унапређени метод вођења „испали и заборави“. Овај систем вођења је специфичан, јер неколико секунди пре лансирања ракета добија податке о циљу и трајекторији лета циља. Након вертикалног лансирања, ракета се веома агилно усмерава у правцу тачке сусрета. У случају наглих промена трајекторије лета циља командно возило, на основу података од радара, преко комуникационог линка шаље корекцију података на ракету, која укључује сопствени радарски или ИЦ трагач, зависно од типа ракете, захвата циља и аутоматски га прати до уништења. Поред савременог мобилног вишефункционалног 3Д радара *Thales GM 200* који ради у S фреквенцијском подручју, основни елементи борбеног распореда батерије чини тактички оперативни центар (командно возило) са 3 радна места и 4 лансера са по 4 ракете. Систем рада у батерији је потпуно аутоматизован и даљински управљив, тако да је могућ борбени рад батерије са само 3 члана послуге у командном возилу, док се управљање радаром и лансерима врши даљински. Овакав начин употребе јединице знатно повећава заштиту људства које опслужује средства.

Немачко ваздухопловство је, да би добило економичну допуну ПВО система MEADS (који користи ракете PAC-3 система *Patriot*), покренуло развој свог система *Iris-T SL*. У почетку развоја *Iris-T SL* је требало да буде систем кратког домета, те је немачка компанија Diehl BGT Defence искористила постојећу ракету ваздух-ваздух нове генерације *IRIS-T* (Infra Red Imaging System Tail/Thrust Vector-Controlled) који је прилагодила вертикалном лансеру постављеном на лако теренско возило. Важан део система *IRIS-T SL* чини Saab-ов радар Giraffe AMB који има максимални домет претраживања до 100 км, а може истовремено да прати до 150 циљева. Након лансирања за навођење и захват циља пројектил се ослања на своју главу за самонавођење са инфрацрвеним претраживачем. Пошто је почетна верзија ракете *Iris-T* имала домет тек 25 км (када се лансира са земље домет се додатно смањује), развијена је нова ракета *Iris-T SL* (Surface Launched) са јачим ракетним мотором и, захваљујући њему, домет је повећан на 30 км. Са изворног пројектила преузет је систем за навођење и надзор

лета те систем за векторизацију потиска ракетног мотора који замењује употребу конвенционалних управљачких крила.

Домаћа предузећа наменске индустрије су, уз помоћ пројеката ВТИ и координације Југоимпорт–СДПР-а, понудила више система овог типа, од којих су најперспективнији били *РЛ-2* и *РЛ-4*, засновани на ракетама ваздух-ваздух типа *P-60МК* и *P-73*, са ИЦ самонавођењем. Захваљујући огромној упорности, креативности, инвентивности и храбрости, група ваздухопловних ентузијаста је прилично брзо реализовала и испробала ове пројекте за време бомбардовања НАТО алијансе, али су они остали само пројекти. Очигледно је да су ову идеју искористиле и економски много богатије државе и, уз надоградњу лансирне платформе, увезивањем са командним возилом и софистицираним радаром за почетну асигнацију циља добили веома ефикасне системе ПВО са малом ценом коштања.

Примена нове генерације оружја

Са становишта ратовања оружјима нових генерација њихова ефикасност ће се огледати кроз употребу информационог, електромагнетног, ласерског и радио-фреквенцијског оружја. У условима масовне засићености аутоматизованим системима, количини обрађених информација и глобалној компјутеризацији оружаних снага, војни аналитичари предвиђају да ће информационо оружје имати водећу улогу, тј. обухватиће практично све сфере, у том смислу и невојне, са широким утицајем на све етапе оружане борбе и одређиваће ефективност примене свих других врста оружја.

Употреба електромагнетног оружја у Ираку (операција „Пустињска лисица“, 1998) и током борбених дејстава НАТО-а у СР Југославији 1999. године показала је да су авиони НАТО-а користили такозване „меке“ графитне бомбе и том приликом избацили из рада 2/3 енергетског система Србије. Пуњења ових бомби представљају фина алуминизирана влакна дебљине неколико стотина делова милиметра која приликом додира са проводницима високонапонских далековаода изазивају кратак спој, изазивајући снажан електрични удар и варничење. Том приликом није било жртава и рушевина, али је била нанесена огромна економска штета. Једна врста електромагнетног оружја, тзв. „I-бомба“ генерише моћне електронске импулсе, који избацују из рада радио и радарске стани-

Врста оружја	Даљина уништења дејства, km	Базирање сложених система	Максимална фреквенција понављања обл/мин	Средња снага (kW)
1	2	3	4	5
Савремени типови ласерског оружја				
Ласерска спирала	до 1	Преносни	4-6	0,5
Самоходни систем средње снаге	3-5	Покретни носач	6-7	до 10
Преносна опрема за осматрање	1-2	Преносни	6	0,6
Савремени видови наоружања усмерене енергије				
Ласерско оружје: - мале снаге;	до 2	Преносни	6-10	до 1
- средње снаге	до 8	Покретни и ваздушни носач	6-10	до 500
- велике снаге	до 20	Покретни носач	10-12	до 1000
Убрзавајуће оружје	до 5	Покретни носач	10-12	
Високофреквенцијско оружје	Надземни циљеви – до 10 Ваздушни циљеви – до 50	Покретни носач	6-10	500 000
Инфразвучно оружје	до 8	Покретни носач		250-600

Табела 1. Основне карактеристике тактичког оружја усмерене енергије, Предавање на ВА ВКО Руске Федерације, 2009. године

це, компјутере и друге сложене уређаје, изобличавајући сигнале и податке.

Као врста ласерског оружја употребљава се оружје усмерене енергије. Оно користи прецизни усмерени сноп засићене енергије побуђених или неутралних честица (електрона, протона, неутралних атома водоника) доведених до великих брзина. Снажни удар енергије прави на циљу механичка оштећења, јако топлотно дејство и изазива (иницира) кратке таласе – електромагнетно (рентгенско) зрачење. Употребу овог оружја карактерише тренутно дејство, рушење (повреда) и избацавање из строја уништених објеката. Објекти уништења могу бити, пре свега, познати сателити Земље, интерконтиненталне ракете, балистичке и крилате ракете различитих типова, а такође и различите врсте земаљског наоружања и војне технике.

Карактеристике ласера показују да се његов сноп може употребити као разорно оружје са многим предностима у односу на до сада позната оружја. Пошто се балистичка интерконтинентална ракета креће брзинама до 7 километара у секунди,

што ниједан ракетни систем ПВО не може да прати и гађа, а брзина ласерског снопа износи 300.000 километара у секунди, то значи да је ракета готово стационаран циљ у односу на кретање ласерског снопа. При слабијем режиму рада, ласерски сноп се може користити као радар високе прецизности за добијање тачних података о циљу. То значи да би се исти уређај могао прво користити за претраживање, откривање циља и утврђивање његовог положаја, а затим да се преведе у режим максималне снаге и упуту ласерски сноп уништавајућег интензитета на циљ.

Оружје радио-фреквенције користи се за избацавање из рада електронске опреме центара управљања, командних места и чворишта веза и јединица за осматрање и навођење. Америчка војска је вршила лабораторијско-полигонска испитивања на системима који раде у дијапазону фреквенције 1-3 ГХз и на основу тих резултата извршена је бојева провера у рату против Ирака 2003. године. Сложена борбена оружја радио-фреквенције могу бити израђена од разних варијанти надземног (мо-

билни генератори), ваздушног и космичког базирања.

Закључак

Развој савремених ПВО система, пре свега, зависи од карактеристика и тенденција развоја средстава за напад из ваздушног простора уз примену савремених система електронског ометања, карактеристика крстарећих и балистичких пројектила, развоја наоружаних беспилотних летелица и космичких летелица које се лансирају у орбиту. Стелт карактеристике савремених вишенаменских борбених авиона пете генерације (попут Ф-22, Ф-35, ПАК-ФА) и бомбардера (попут Б-2) подразумевају отежано откривање и праћење летелица радарским средствима и представљају изазов за ракетне системе ПВО у наредној декади. Тенденција развоја ПВО система свакако ће бити у експлоатацији глобалног тржишта високих технологија, посебно компјутерских технологија високих перформанси, микропроцесорских чипова и микроталасних компоненти коришћењем GaAs технологије.

Са аспекта перспективности појединих ракетних система за ПВД треба нагласити да може бити ефикасан само онај систем за ПВД који укључује оптималан скуп разноврсних борбених система, радара, командно-информационих система, система за електронско ратовање са укљученим системима за електронско извиђање, који раде у различитим опсезима рада даљина, висина и фреквенција, који користе различите принципе за детекцију, одређивање координата, навођење и праћење циљева у ваздушном простору и навођење ракета на циљ. Превелико придавање значаја неком одређеном правцу развоја, или потпуно напуштање проверених принципа може имати погубан утицај на ефикасност система за ПВД у целини.

И поред присуства рачунара, електронике и аутоматике, у будућности се предвиђа интензивирање обуке оператора коришћењем софистицираних симулатора подржаних рачунарима. То треба да омогући што реалнију симулацију различитих сценарија који се могу појавити у будућем веома комплексном електронском рату. Уосталом, методама симулације могу се анализирати и могућности противничких средстава о којима постоје подаци, али нису физички доступни. У пракси је установљено да је у многим критичним ситуаци-

јама улога обученог оператора била од изузетног значаја и често је превазилазила значај многих техничких решења у радару. Зато је, поред врхунске обучености оператора, потребно радити на развијању вештина и способности кадра за перцепцију, инвентивно и креативно, а не шаблонско решавање проблема.

Литература:

1. Bolkcom, C.: Military Suppression of Enemy Air Defenses (SEAD): Assessing Future Needs, CRS Report for Congress, 2005
2. Гацковић, Ч.: Ракетни системи ПВО у противелектронској борби, Војноиздавачки завод, Београд, 1989.
3. Гацковић, Ч.: Радарска средства система за ПВД у електронском рату, радни материјал
4. Гордић, М., Петровић, И.: Анализа профила официра рода АРЈ за ПВД и службе ВОЈ на почетним дужностима, Научно-стручни скуп са међународним учешћем, Војна академија, Београд, 2009.
5. Група аутора: Ракетни системи друге генерације – стање и могућности модернизације, Нови гласник број 3, Војноиздавачки завод, Београд, 2009.
6. Department of Defense; Report to Congress, Kosovo/Operation Allied Force - After action report, Washington DC, 2000
7. Kopp, C.: Legacy Air Defence System Upgrades Technical Report APA-TR-2009-0601, SMAIAA, MIEEE, Peng, June, 2009
8. Kopp, C.: Hybridisation of Surface to Air Missile Systems, Air Power Australia NOTAM, January, 2009
9. Kopp, C.: Evolving Technological, Strategy in Advanced Air Defense Systems Evolving Technological Strategy, JFQ / issue 57, 2010
10. Lambeth, B.: NATO's Air War for Kosovo: A Strategic and Operational Assessment, RAND, 2001
11. Martin, A.: BA(hons), MA, PhD, RAAF(Retd), Revisiting the Lessons of Operation Allied Force, Air Power Australia Analysis 2009-04, June, 2009
12. Naval air warfare center; Electronic warfare and radar systems engineering handbook, 1999.
13. Peters, J.: European Contributions to Operation Allied Force, Implication for Transatlantic Cooperation, Project Air Force, RAND, 2001.
14. Предавање на Војној академији ваздушно-космичке одбране Руске Федерације, Катедра 16, Лекција бр. 28; Утицај оружја нове генерације на борбену способност војске, 2009.
15. Презентације производног програма компанија „Рособоронекспорт“ Русија, „Raytheon“ САД, „Rafael“ Израел, „MBDA“ EUROSAM, Београд, 2010.

Интернет сајтови:

- <http://www.janes.com>
- <http://pvo.guns.ru>
- <http://army-technology.com>
- <http://ausairpower.net>
- <http://globalsecurity.org>
- <http://wikipedia.org>