

САВА ПУСТИЊА

БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ



Београд, 2020. година



Сава Пустиња

БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ

Београд, 2020. година

Издавач
Сава Пустиња

Рецензент
Др Милан Синобад, дипл, инж.
Институт за нанотехнологије у Лиону, Француска

Лектор
Тајјана Станић

Технички уредник
Саша Бешевић

Штампа:
Штампарија Радунић

Тираж:
500

Ова књига штампана је захваљујући финансијској помоћи
Адвокатске канцеларије Бутолен

Посебну захвалност изражавам
господину Франц-Бранку Бутолену

Учесници у финансирању штампања књиге
Милан Мандић, дипл, екон.
Сима Бобић, дипл, инж.

Суйрузи Садеџи,
ћерки Таџџани, сину Иџору,
унуцима Сџевану, Ивану, Алиси, Филипју и Давиду.

Садржај

<i>Предговор</i>	7
1. Увод	9
2. Историја	12
3. Класификација.....	16
4. Технологија.....	22
4.1 Труп.....	25
4.2. Погон.....	27
4.3. Рачунарски и електронски системи.....	28
4.4. Сензори (давачи)	30
4.4.1. Акцелерометар	31
4.4.2. Жироскоп.....	32
4.4.3. Интеграција сензора и фузија сигнала.....	33
4.4.4. Сензори осетљиви на великој удаљености	34
4.4.4.1. Радар SAR	36
4.4.4.2. LIDAR.....	42
4.5. Софтвер.....	44
4.6. Навигациони систем	45
4.6.1. Инерцијални навиџациони систем (ИНС)	45
4.7. Команде лета и управљање.....	50
4.7.1. Аутономија лета	54
4.7.1.1. Истраживачко-развијни пројекат БПЛ, за аутономни лет	60
4.7.2. БПЛ класичне аеродинамичке шеме	62
4.7.3. БПЛ са 4 ротора (квадратор).....	63
5. Намена.....	71
5.1. Војна намена.....	71
5.2. Цивилна намена	82
5.3. Хобистичка намена	83

6. Војна оперативна употреба	84
6.1. Агресија на бившу СРЈ и мировне мисије	84
6.2. Авганистан	86
6.3. Пакистан	89
6.4. Сирија и Ирак	92
6.5. Сомалија	93
6.6. Либија	96
6.7. Јемен	98
6.8. Појединачне ликвидације	100
7. Глобални проблем контроле (зло)употребе БПЛ	103
8. БПЛ, које ће имати значајну улогу у наредним деценијама ..	105
8.1. MQ-9 Рипер	105
8.2. Руски Охотник	107
8.3. БПЛ Неурон	110
8.4. Аустралијска БПЛ	114
8.5. Црни стршљен	115
9. Рад Ваздухопловнотехничког института на идејном пројекту БПЛ	116
10. Рецензија	117
11. Коришћене ознаке и скраћенице	118
12. Извори	121

Предговор

Тема БЕСПИЛОТНЕ ЛЕТЕЛИЦЕ што је веома обимна, вишезначно је специфична по интердисциплинарности, софистицираности, експлозивно брзом развоју, широком пољу универзалне примене, по опасности од потпуног губитка контроле у примени, (зло)употребе и многих других изазова. Обухвата летелице модела инсекта, птице и све до авиона шесте генерације, који ће имати масу од неколико десетина тона.

Авиони шесте генерације су у току развоја и са великом вероватноћом биће без пилотске кабине и пилота. Реално је претпоставити да ће бити и појединачних алтернативних решења, са обе могућности пилотирања.

Стручњаци за сада немају одговор на питање како се одредити по питању суштинског међусобног поистовећивања или разграничења ових тренутно одвојених летелица, које се за сада различито називају беспилотне летелице (БПЛ) и ловачки авиони, шесте генерације.

У оквиру ових бројних питања, свакако је најтеже оно како ће свет на глобалном нивоу, решити проблем контроле (зло)употребе беспилотних летелица. Злоупотреба највише прети од група и појединаца терориста, поготово када се и поједине државе понашају непоштујући међународне норме. То питање посебно добија на тежини кад се зна да се и мале комерцијалне, лако доступне беспилотне летелице могу ефикасно користити у терористичким акцијама и за разне друге злоупотребе.

Карактеристичан је случај злоупотребе мини БПЛ од извесног Албанца Морине, на међународној квалификационој фудбалској утакмици између Србије и Албаније (слика 91). Утакмица је прекинута, а оштећени су љубитељи фудбала и нанета је велика љага на регуларност тог традиционалног међународног спортског такмичења. То је свакако миноран пример, у односу на злоупотребе терористичких група и појединих држава у убијању великог броја људи, посебно цивила, а међу њима и великог броја деце.

Једностраном одлуком о ликвидацији иранског генерала Касиема Сулејманија, употребљена је беспилотна летелица! Тако лако спроведено дело, једностране ликвидације, било кога (зло)употребом

могућности БПЛ, намеће озбиљно питање реалности могућег постојања одговарајућих правила, норми и ограничења понашања у условима могућег извршавања смртне казне без судске пресуде.

Потенцијално и објективно, застрашујући је будући напредак аутономног лета БПЛ, праћен страхом од остварене могућности летеће машине, робота без савести, да самостално доноси одлуке о животу и смрти.

Развојем беспилотне технологије, природа рата је значајно измењена. Ратовање беспилотним летелицама је нетипично, без преседа, веома је сложено и без препознатљивих супростављених страна у њему. Људи су непрекидно изложени крајњем ризику, у сваком временском тренутку, а притом нису тога ни свесни. Брише се и последњи показатељ ратног витештва војника.

У оквиру мноштва питања о овој комплексној теми, настојао сам да излагање буде избалансирано у домену популарног, енциклопедијског и стручног, што је могуће прихватљивије за широки круг читалаца. Колико сам у томе успео, оцениће читаоци.

Аутор

1. Увод

Беспилотна летелица (БПЛ) (енгл. *Unmanned aerial vehicle, UAV*)¹ нема летачку посаду. Њоме управља навигатор (пилот), даљинским преносом сигнала са земље, пловила на води или из ваздушног простора, а најчешће из станице за управљање. То зависи од категорије, намене и конкретне мисије БПЦ. Лет може бити и аутономан, по програмирано задатој трајекторији. Најчешће се беспилотном летелицом управља комбиновано, вођењем преноса сигнала од оператора, а поједини делови трајекторије одвијају се аутономно. Код аутономног лета, претходно се меморишу подаци за одређени вектор стања који одговара томе делу трајекторије. Тај самостални сегмент лета искључиво подржава и контролише аутопилот.

Беспилотно летење све више добија на значају у свим ваздухопловним гранама употребе и целокупне људске делатности, посебно у земљама великог техничког и материјалног потенцијала. Томе првенствено доприноси брзо померање граница развоја технологија: погона, микроелектронике, развоја моћних софистицираних сензора аутоматике, вештачке интелигенције, роботике итд.

БПЛ за војну примену крче пут највећим улагањем у развој напредних технологија, што приоритетно служи за такмичење у постизању борбене престижи над потенцијалним противником. То такмичење обезбеђују високи и фаворизовани војни буџети. Престанком ексклузивности тих технологија у војци, оне добијају статус широке примене.

У првом нивоу развоја, БПЛ су коришћене као мете у ваздушном простору, за проверу и вежбање руковаоца система противваздухопловне одбране (ПВО). Раније су за ту намену коришћени старији ваздухоплови, повучени из оперативне употребе, које је пилот

¹ За БПЛ је појединачан назив ДРОН. Поготово у српском језику. ДРОН има више значења и у енглеском језику, а у преводу на српски је најближе значењу „тйруи”. Та реч се односи на лењивца и мужјака йчеле. Израз ДРОН је йрениј из йрошлости када су коришћене лејшеће мејте за вежбање бродске артиљеријске батерије (1920.йодине). САД су званично увеле назив беспилојйна лејтелица (енгл. *Unmanned aerial vehicle, UAV*) 2005. йодине.

уравнотежио (натримовао), у последњем лету и напуштао, непосредно пре извођења гађања, у делу безбедног и слободног ваздушног простора.²

Постоје решења БПЛ за једнократну употребу – „самоубице”. Оне су пуне експлозива и користе се за уништавање посебно важних циљева, слично крстарећим ракетама.³

Намена БПЛ се значајно проширила, осим примене у војци на примену у спорту, привреди, а нажалост и у тероризму. Даљим напретком технологија, шири се лепеза и обим њихове намене. Злоупотреба се све теже контролише, што постаје глобални светски проблем.

БПЛ је првенствено намењена за виšekратну употребу, дефинише се по свим правилима струке као и остали ваздухоплови и према потреби њоме даљински управља оператор. Лет крстареће ракете се одвија аутономно, помоћу изабраног принципа самонавођења и препознавања циља.

Од пилотираног авиона разликује се по томе што нема кабину и нису обезбеђени остали потребни услови за присуство и рад летачке посаде (пилота).

Техника и принцип полетања и слетања су често идентични ваздухоплову са пилотом, а постоје и решења са катапултирањем и приземљење падобраном. Полећу са земље, бродова, а у последње време и из транспортних авиона. За аеродинамичку и конструктивну шему БПЛ, чешће се користе стандарди авиона, а ређе хеликоптера. Све више се користе и једноставне нестандартне летеће платформе.

Слика 1.
Летелица ЈНА
за вежбање ПВО, са
радио-управљањем
(енгл. Radio Control – RC)⁴



- 2 У Југословенској народној армији (ЈНА), коришћени су расходовани авиони типа Сејбр, изнад Јадранског мора, за проверу гађања ракетама ПВО совјетског порекла.
- 3 Сукоб између Азербејџана и Јерменије 2020. године, обележава велика примена БПЛ – „самоубице. Један од најуда са највећим жртвама је на аутобус са јерменским војницима 1. 10. 2020. Сви војници су усрђени.
- 4 Радио-управљана (енг. radio control RC) летелица, развијена и произведена је у серији од 50 примерака, у Ваздухопловнотехничком институту. Те летелице су искоручене на оперативну употребу ПВО ЈНА, почетком седамдесетих година, за основну обуку војника (оператора артиљерије ПВО).

Најмасовнија употреба БПЛ је у војсци. Постепено, војне БПЛ оспособљаване су за све захтевније задатке. У раном периоду развоја искључиво су биле извиђачке и шпијунске, а касније су коришћене и за сложене борбене задатке вазду-тло и ваздух-ваздух.

Америчко ратно ваздухопловство планира огромно повећање флоте БПЛ у оперативној употреби до 2047. године, а и остале армије света имају сличне планове.

Сасвим је извесно да ће борбени авиони шесте генерације бити беспилотни, са алтернативном могућношћу коришћења посаде. Реално је очекивати да ће авиони седме генерације првенствено бити беспилотни. Разграничење БПЛ, у односу на беспилотне ловачке и друге авионе (са даљинским управљањем), још увек није јасно. Стручњаци о том питању још немају искристалисан став.

Широка је лепеза пројеката и примене беспилотних летелица. Још већа је лепеза њихових величина које се крећу између два екстрема, од имитације инсекта до габарита летећих цистерни горива, а и до масе борбених БПЛ од неколико десетина тона.

2. Историја

Историјским разматрањем развоја технологије беспилотног летења, долази се до закључка да се она заснива на принципу преноса команди радио-сигналом, „чедом” генијалног Николе Тесле. Тај свој генијални изум, Никола Тесла је патентирао под бројем 613.809. То је постала основа технологије беспилотног летења, познатог под називом радио-управљање (енгл. *radio control RC*), на чему се заснива и савремена роботика.

Никола Тесла је први пут демонстрирао даљинско управљање кретањем возила крајем деветнаестог века. На језеру у Медисон скверу гардену (енгл. *Madison Square Garden*), демонстрирао је даљинско управљање моделом брода са радио-сигналом, 1898. године. Ово је прва таква примена радио таласа у историји, којом је Никола Тесла много задужио свет, па и заслужио огромно признање. Својим изумом, Тесла је поставио темељ и указао на потенцијал за даљи развој беспилотног летења, као и за остале напредне технологије. Та чињеница се углавном неправедно прећуткује.

Конкретнији приступи и развој БПЛ датирају почетком двадесетог века. Тада се првенствено размишљало о њиховој примени на објекту као циљу у ваздушном простору за обуку посада артиљеријског оружја противваздухопловне одбране (ПВО).

Развој беспилотних летелица настављен је током Првог светског рата. Тада је ваздухопловна компанија Дејтон – Рајт развила летећи торпедо, без пилота, који је унапред подешен да у одређено време експлодира.

Значајнији напредак је уследио после Првог и током Другог светског рата, у водећим армијама развијених земаља. Нацистичка Немачка је такође у томе периоду производила и користила разне БПЛ.

У Другом светском рату, војска је користила летеће авио-моделе за вежбање војника оператора на противавионској артиљерији у праћењу покретних циљева у ваздушном простору. Вежба се сводила на угаоно праћење покретног циља, који лети у ваздушном простору, са угаоним закретањем цеви оружја и хватањем истог у нишанско поље. При томе је коришћена аналогија да је угаона брзина закретања цеви оружја иста за случајеве кретања циља великом брзином на великој висини и малом брзином на малој висини. То је за војника, оператора на топу, веродостојна вежба за усмеравање оружја и тиме су били задовољени основни услови за

тај ниво обуке. Југословенска народна армија (ЈНА), такође је користила тај метод тренинга својих посада артиљеријских батерија ПВО.

После Другог светског рата, увођењем млазних мотора за погон летелица, почео је значајнији развој и оперативна употреба БПЛ у војним наменама. БПЛ су много коришћене у Вијетнамском рату у задацима извиђања, ласерског обележавања циљева и навођења пилотираних авиона на важније циљеве.

Америчко ратно ваздухопловство, забринуто због великих губитака пилота над непријатељском територијом, почело је, 1959. године да планира развој и употребу беспилотних летелица. Планирање се убрзало након што је Совјетски Савез оборио њихов извиђачки авион У-2, 1960. године. Убрзо је покренут високо софицирани програм развоја БПЛ, под кодним називом „Црвени вагон”. Војни сукоб у Тонкишском заливу, у августу 1964. године, између јединица америчке и северно – вијетнамске морнарице, интензивније је покренуо борбену употребу америчких беспилотних летелица у Вијетнамском рату. Кад је Влада Народне Републике Кине показала фотографије оборених америчких беспилотних летелица, званична Америка је остала „без коментара“. Ипак су касније, 1973. године, потврдили да су користили БПЛ у југоисточној Азији (Вијетнаму).

У том рату је погинуло више од 5.000 америчких ваздухопловаца, а преко 1.000 је нестало или заробљено. 100. *сврајџешко извиђачко крило* УСАФ-а извршило је 3.435 мисија беспилотним летелицама током тога рата, при чему су изгубили 554 примерка. Генерал Џорџ С, Браун, командант ваздухопловства, 1972. године изјавио је: „Једини разлог за употребу БПЛ је тај што не желимо беспотребно ризиковати животе људи у пилотским кабинама авиона”. Касније, исте године, генерал Џон Ч. Мејер, главни командант Стратешке ваздухопловне команде, изјавио је: „Препуштамо висок степен ризика беспилотним летелицама, њихови губици су високи, али ми смо спремни да их поднесемо и да тако сачувамо животе пилота”.

У Јомкипурском рату 1973. године, Израел је користио беспилотне летелице као мамце како би изазвао противничке снаге да што више лансирају и троше скупе противавионске ракете. После овог рата, неколико кључних људи тима, који су развили ове ране јефтине



Слика 2 лево: БПЛ Риан 147 (енгл. Ryan 147), десно: Риан фајреби (енгл. Ryan Firebee) је једна у низу развијених БПЛ; њојшела је 1951.

Слика 3. Прва
џакићичка
израелски БПЛ
Мадиран масџиф
полећела је 1975.



БПЛ, придружио се малој компанији која је почела да их развија као комерцијални производ. На крају, то је постала основа за развој прве значајније израелске војне БПЛ.

Током рата 1973. године, совјетске ракетне батерије земља-ваздух, у Египту и Сирији, нанеле су велике губитке израелској борбеној авијацији. На основу тога искуства, Израел је развио прву БПЛ са даљинским управљањем и снимањем терена у реалном времену. Фотографије и радарски подаци са ових БПЛ помогли су Израелу да у потпуности лоцирају и касније неутралишу сиријску противваздухопловну одбрану, на почетку Либанског рата 1982. године, са значајним смањењем губитака живота својих пилота.

У Израелу је 1987. године први пут је практично доказана оправданост концепта супер – маневарског управљања летом и након „лома” узгона летелице (при престанку ефикасности репова). То је реализовано на основу примене напредних технологија тродимензионалног управљања вектором потиска погонског млазног мотора на БПЛ. То је реализовано у веома захтевном истраживачко-развојном задатку.

Прве генерације БПЛ, првенствено су коришћене за извршавање задатака извиђања, а касније, после великог броја мисија надзора и стечених искустава при агресији на СРЈ, потенцирано је опремање Америчког ратног ваздухопловства са беспилотним летелицама MQ-1 предатор, наоружаним ракетама ваздух-земља.

Слика 4.
Амерички MQ-1
џредатор,
лансира ракету
ваздух-земља
AGM-114
хелфајер.





Слика 5 лево: Једна од мноштва реализованих конфигурација БПЛ-це, десно макета најпознатије евројске БПЛ Нерон.

Усавршавањем и минијатуризацијом применљивих технологија крајем двадесетог века, у врху америчке војске порасло је интересовање за БПЛ. Деведесетих година, склопљен је међусобни уговор о кооперацији са израелским компанијама ААИ и Малат. Америчка морнарица је купила БПЛ типа ААИ пионир (енгл. ААИ *Pioneer*) коју су развиле и произвеле фирме ААИ и Малат.

Многе од ових беспилотних летелица, уведене су у оперативну употребу у Заливском рату 1991. године. Показале су ефикасност и висок однос између цене извршеног задатка и својих трошкова, без излагања ризику живота пилота.

Америчко ратно ваздухловство је 2012. године поседовало у оперативној употреби 7.494 примерка БПЛ. То је скоро трећина од укупног броја летелица свих врста, Америчког ратног ваздухопловства. Тај број сваке године расте. Централна обавештајна агенција (енгл. *CIA*) такође поседује БПЛ и користи их у својим оперативним задацима.

БПЛ Нерон (енгл. *UAV Neuron*, стилизовано написано као *nEUROn*), европска је експериментална БПЛ. Умањене је уочљивости, на принципу аеродинамичке шеме „летеће крило“, слично познатом америчком бомбардеру В-2 спирит. Носилац развоја ове летелице је француска фирма Марсел Дасо.

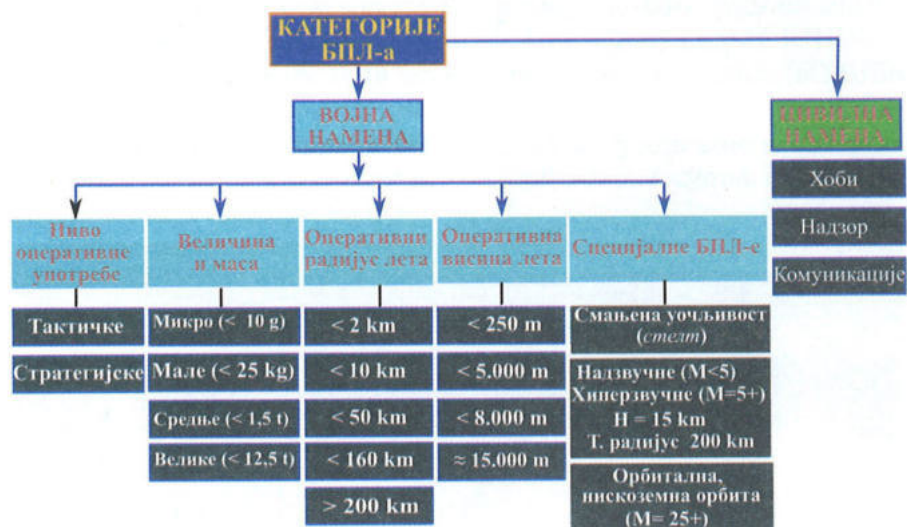


Слика 6 лево: Груманова БПЛ носи ЕО/ИР и сензоре SAR, ласерски даљиномер ласерски означивач и инфрацрвене (ИР) камере, десно: изложбени приказ дела америчких БПЛ у 2005.

3. Класификација

Основна подела БПЛ је у групе за војну и цивилну намену. Без обзира на то што се подразумева, да су за војну намену опремљене системима заснованим на тренутно најсавременијим постојећим технологијама, у војним мисијама се могу користити најједноставније цивилне БПЛ, чак и оне намењене за хоби употребу.

Класификација БПЛ по категоријама на основу неколико кључних карактеристика приказана је на слици 7. Та класификација није могућа по сасвим егзатним критеријумима. То је начелно груписање због лакше комуникације у процесу планирања њиховог учешћа у конкретним мисијама. Систем класификације БПЛ користе амерички војни оперативци, због њиховог означавања у укупном плану употребе у својој авијацији, у војним и цивилним мисијама.



Слика 7. Шема глобалној разврставања БПЛ по категоријама

Категорије БПЛ према долету и висини лета:

- Висина лета до 600 m, а долет око 2 km.
- Ограничен простор у оквиру надморске висине до 1.500 m и до лета до 10 km.
- НАТО тип, висина лета до 3.000 m и долет до 50 km.
- Тактичка БПЛ, висина лета до 5.500 m и долет до 160 km.
- Средња надморска висина и дуга аутономија лета (енгл. *medium-altitude long-endurance*, MALE), висина лета до 9.000 m и долет преко 200 km.
- Велика надморска висина лета (преко 10.000 m), дуга издржљивост (енгл. *high-altitude long-endurance*, HALE) и неограничен долет.
- Надзвучне БПЛ (Махов број је 1–5), хиперсоничне (Махов број је 5+), а висина лета 15.000 m, или суборбитална надморска висина, долет преко 200 km.
- Орбитална нискоземна (Махов број је 25).
- Транспортер Земља–Месец.
- Систем за преношење рачунарске подршке бесплотним летелицама (енгл. *Computer Assisted Carrier Guidance System CACGS*).

Остале категорије укључују:

- Средње војне и комерцијалне БПЛ.
- Велике специјалне војне БПЛ
- Борбене БПЛ, смањене уочљивости (енг *stealth*).
- Алтернативна могућност са пилотарањем и без пилотарања припадају неklasификованим летелицама.
- Хобистичке БПЛ, могу се разврстати на:
- Способне за летење, а комерцијално недоступне.
- Употребљиве разне платформе, са минималним летачким знањем.
- Сопствена израда и оспособљавање за летење – потребно је велико знање за успешну реализацију.
- Голи оквир – захтева велико знање и сопствене делове за уградњу и оспособљеност за летење.

Класификације БПЛ према тежини, прилично су једноставне:

- Микро БПЛ – могу бити мање тежине, чак и од 10g. Ове БПЛ опонашају инсекте, наредни ред величине птице.
- Минијатурне БПЛ теже отприлике до 25 kg.
- Тешке БПЛ имају до неколико десетина тона.

Групе	Категорије	Максимална полетна тежина (kg)	Плафон лета (m)	Аутономија лета (h)	Домен сигнала (km)	Примери	
						Мисије	Летелице
Микро/Мини	Микро	0,10	250	1	< 10	Контакт, узорковање, прегледање унутар зграде	Блак видов, Микростар, Микробат, Фан коптер, Кватрокоптер
	Мини	< 30	150-300	< 2	< 10	Филм и емитовање индустрија, пољопривреда, мерења загађења, прегледање унутар зграде, комуникација	Микадо, Аладин, Тракер, Драгонџ, Равен, Поентер, Кароло С40/Р50, Шкорпио, Максменд, R-50, Робокотер, УН-300SL
Тактичке	Затвореног долета (радијус)	150	3.000	2-4	10-30	RSTA, детекција мина, претраживање и спасавање, EW	Обсервер I, Фантом, Коптер 4, Микадо, Робокотер 300, Поентер, Кемкоптер, Аријел, Агрикултур RMax
	Кратког долета	200	3.000	3-6	30-70	BDA, RSTA, EW, детекција мина	Скорпи 6/30, Луна, Силвер Фокс, Ај-вјув, Фајербирд, Р-Макс агро/фотог-рафија, Хорнет, Равен
	Средњег долета	150-500	3.000-5.000	6-10	70-200	BDA, RSTA, EW, детекција мина, NBC мрежа	Хантер В, Муки, Аеростар, Снајпер, Фалко, Армор Х7, Смарт UAV, UCAR, Игл ај+, Алис, Екстендер, Шадов 200/400
	Великог долета	—	5.000	6-13	200-500	RSTA, BDA, комуникациони релеј	Хантер, Вицилант 502
	Великог ауторитета	500-1.500	5.000-8.000	12-24	> 500	BDA, RSTA, EW, комуникациони релејни пренос, NBC узорковање	Аеросонде, Вултуре II Ехр, Шадов 600, Серчер II, Хермес 450S/450T/700
	Средња висина, велики ауторитет	1.000-1.500	5.000-8.000	24-48	> 500	BDA, RSTA, EW испорука оружја, комуникациони релеј, NBC узорковање	Скајфор, Хермес 1500, Херон ТР, MQ-1 предагор, Предагор-IT, Игл-1/2, Даркстар, Е-Хантер, Доминатор

Стратејске	Велики плафон и ауторитет	2.500- 12.500	15.000- 20.000	24-48	> 2.000	ВДА, RSTA, EW, ко- муникациони релеј, подстицај фазе пре- сретања летилица, глобално обезбеђе- ње аеродром	Глобал хоук, Раптор, Кондор, Десеус, Хели- ос, Предатор В/С, Ли- белуле, Еврохоук, Меркартор, Сензор- крафт, Глобал обсер- вер, Патфиндер плус
За посебне задатке	Смртоносне (самоубице)	250	3.000- 4.000	3-4	300	Против-радарске, Против-бродске, Против-авионске, Против-инфра- структуре	МАLI, Харпу, Ларк, Марула
	Мамци	250	50- 5.000	< 4	0-500	Обмана у ваздуш- ном простору и на мору	Флерт, МАLD, Нулка, ITALD, Шукер
	За стратосферу	—	20.000- 30.000	> 48	> 2.000	—	Перас
	Еко- стратосферне	—	> 30.000	—	—	—	Марс флајер, МАС-1

Табела 1 Примери за категорије БПЛ за сјање 2006. године

Микро БПЛ заслужују посебну пажњу, и то оне које су нево-
роватна имитација птица и инсеката. Код пројектовања ових БПЛ
приоритетно је познавање биомеханике.

Стручњаке много интересује и мотивише непознаница отпор-
ности птица и већине инсеката према јаким ветровима, при којима
успешно лете. Лете и у таквим условима иако су веома мале масе.
Путнички авиони, неупоредиво веће масе, у таквим временским при-
ликама присилно су приземљени!

Та запажања су поставила стручњаке и они су 2015. године орга-
низовано и институционално приступили изучавању тог феномена, у
специфичној научној области називаној биомеханика. У том циљу, за
потребе истраживања живота и специфичног лета птица и инсеката,
изграђене су посебне специјалне БПЛ.

Пројекат једне од тих БПЛ инспирисан је летењем вилиног коњи-
ца. Вилин коњиц има четири крила, која га у лету чине постојаним и
при јаким ветровима који би иначе постојећим стандардним минија-
турним шпијунским БПЛ онемогућили лет.

Тајни пројекат је био велики изазов, због неубичајене употребе ле-
пршавих крила за погон и узгон микро БПЛ. Иако су крила ефикаснија



Слика 8. Микро БПЛ су често у облику њицица и разних инсеката.⁵

од елисе и могу обезбедити лебдење при јаким налетима ветра, готово је немогуће да инжењери вештачки, конструктивним решењема, остваре функцију крила вилиног коњица.

Ипак се успело у реализацији таквих микро летелица, које подносе јачи ветар. Војници са њима шпијунирају непријатељске положаје.

Реализована је микро БПЛ која може да лебди при брзини ветра од 10 m/s, носи камеру и комуникационе системе везе. Дугачка је 8 cm, а њен даљи развој превентивно је фокусиран на смањење габарита (слика 8).

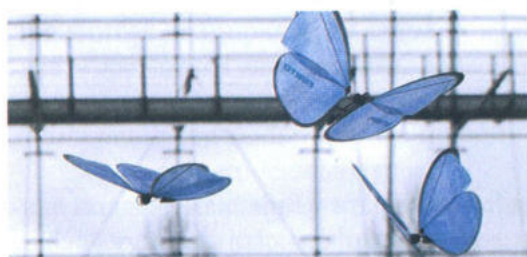
Стечено знање, примењено је код биомеханичких лептира (слика 9). Комбинацијом ултралагане конструкције вештачких инсеката и стеченим знањима у домену проблема међусобне координације, остварен је њихов лет у јату, у затвореном простору.

Координирано летење, у затвореном простору, постиже се употребом ГПС-а и инфрацрвених камера.

Десет камера инсталираних у хали снима лептире, користећи њихове инфрацрвене маркере. Камере преносе податке о њиховом појединачном положају на централни рачунар, који координирано управља летом сваког лептира појединачно (слика 9).

Интелигентни систем умрежавања ствара систем вођења и праћења, који би се могао користити у умреженом надгледању и управљању у будућим фабрикама.

⁵ БПЛ у облику њицица и инсеката користе се у природи, а у облику инсеката често и у затвореним просторима, за њислушкивање и фото-снимање. Сичечена знања имаће ширу примену.



*Слика 9. Јајто вештачких
лейшира, у лету*

Да би опонашали природни узор, што је могуће аутентичније, вештачки лептири се одликују високо–интегрисаном уграђеном електроником. Они могу да појединачно прецизно активирају крила, а брзо мењају облик и брзину кретања. Махањем крила ствара се аеродинамички узгон, захваљујући опонашању специфичне аеродинамике природног лептира.

На тај начин су остварене високо–интегрисане истраживачке летеће платформе, са минималном употребом материјала. Постигнут је још један корак у области минијатуризације, лагане конструкције и функционалне интеграције. Ове летелице импресионирају паметним коришћеним системом, најмање могућим изворима снаге и агрегатима у ограниченом простору. Минималном употребом материјала остварено је летење по узору на право летење природног лептира.

4. Технологија

Интензиван је развој и производња БПЛ широм света, посебно за војну намену. Трошкови развоја за војне БПЛ, као и код већине војних програма, обично прекораче почетне процене. Разлози су углавном промене захтева током развоја, брзо пристизање напреднијих технологија и пропусти у рационалном коришћењу расположивих капацитета.

Рана употреба БПЛ, била је током рата у Вијетнаму. Након лансирања, БПЛ су снимале видео-записе на филмској траци, у уређају на летелици.

Због једноставне природе ових летелица, називане су дронови (трутови).

Летелице су често после лансирања летеле у правој линији или у предходно подешеној кружној путањи и прикупљале су видео-податке све до краја своје аутономије, након чега су слетале. После слетања, филм се развијао и анализирао.

Са развојем система радио-управљања и одговарајуће инфраструктуре, постале су даљински управљиве, са веома проширеном и софистицираном наменом, па и много кориснијим учинком.

Технологије беспилотног летења су од огромног значаја пошто нуде велике могућности да олакшају изазовне, ризичне и опасне радње учесника у војним и цивилним операцијама. Тај значај оправдава њихов експлозиван развој, са великим улагањем у напредне технологије на којима се заснива беспилотно летење.

НАТО је покренуо потребу споразумне стандардизације са документом STANAG 4586 (енгл. *Standar dization Agreement*).

Представио је овај текст који је почео процесом ратификације још у 1992. године. Циљ је био, да се савезничким народима омогући лако дељење информација добијених помоћу беспилотних летелица, кроз заједничке технологије језика командних станица.

Стандард STANAG 4586 омогућава да сви савезници разумеју информације у стандардизованим форматима порука у процесу беспилотног летења. Исто тако, сазнања добијена од других усклађених БПЛ могу се пренети као специфичне поруке из формата беспрекорне интероперабилности. То може да функционише са заједничком подршком тог протокола свих држава савезника.

Практичном испитивању су додати и амандмани у оквиру споразума, уз повратне информације и примедбе од стручњака из области индустрије и тимова експерата за подршку.

Постоје многи системи који су доступни а који се развијају у складу са STANAG 4586, укључујући и производе од лидера заинтересоване индустрије, интегрисане у велике корпорације.

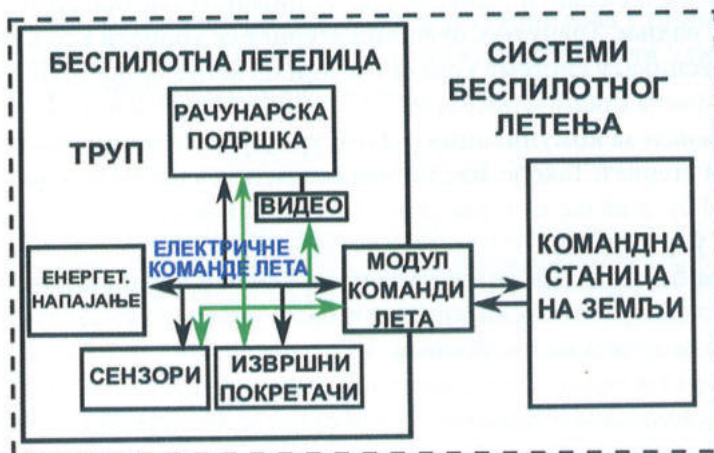
Технологија аутономије БПЛ настала је интегрисањем механичких и електронских компоненти као што су рам и сензори за навигацију и друге намене, рачунари и погон. Овај пакет опреме обавља функције за аутономне задатке, разлози за интервенисање пилота (оператора) лоцираног на великој удаљиности су минимални.

Уграђене компоненте могу се сврстати у групе:

- рачунар за управљање летом (енгл. *flight control computer*, FCC),
- навигациони сензори,
- комуникацијски модул и
- енергетско напајање.

Рачунар за управљање летом са уграђеним програмом PC/104 пројектован је са компатибилним електронским плочама због вишег степена поузданости, компактности и могућности проширења капацитета (отворена конфигурација).

Срце навигације је устаљени инерцијални навигациони систем. Он се састоји од пакета чврсто уграђених инерцијалних сензора, дигиталног процесора и преноса сигнала преко серијског прикључка. Излаз навигационог система (енгл. *Digital Quartz IMU-Navigation Processor DQI-NP*) серијско је решење. Периодично је неопходно да се ажурирају подаци испоручени од сензора ИНС-а у односу на позицију поузданих спољних репера да би се исправила системска грешка процене позиције БПЛ, настале сабирањем грешака у процесу обједињавања пристиглих информација. Ажурирање се врши помоћу ГПС-а.



Слика 10. Уопштено, компоненте беспилотне летелице

Глобални позициони систем (ГПС) који се користи у овој управљачкој структури има изузетну тачност од два сантиметра. Рачунар *DQI-NP* команди лета добија позицију и вредности линеарне и угаоне брзине БПЛ, велике прецизности. Из пакета ГПС-а се сваке секунде преносе инвертоване поруке о процени положаја према рачунару *DQI-NP*. На основу добијених навигационих података, рачунар за управљање летом (FCC) израчунава излаз за четири канала управљања: пропињање, скретање, ваљање и режим рада мотора. На основу тог излазног сигнала, командне површине и „гас” мотора, покрећу се извршним покретачима који прихватају сигнале (енгл. *Pulse-width modulation PWM*) у трајању 14–21 ms, као референтне команде. Кашњење (временска константа), тог процеса, је у распону 0,8–2,4 ms. Да би се осигурала безбедност, на прилагођени прихват носеће плоче додаје се посебно коло којим се може преbacити управљање са FCC на радио-пренос (RC) за директно управљање пилота (оператора) из земаљске командне станице. Други канали у случају прекорачења могућности основног панела, приказаше излаз радио-рисивера, да би човек пилот преузео команду над БПЛ. Ово решење се показало изузетно важним за систем идентификације и повратне информације за помоћ и резервацију поузданости летења БПЛ.

Комуникациони модул садржи два модема са бежичним картицама од 900 MHz и једне бежичне етернет картице од 2,4 GHz. Врста уређаја за комуникације бира се на основу типа мисије. Бежични модеми су кориснији за мисије великог долета јер је њихов супериорни опсег у оквиру 20 до 32 km. Мана им је релативно спор проток (<11,5 kbps). Један бежични модем се користи за пренос навигационих података, а други за читање диференцијалних података које емитује ГПС. У нормалним ситуацијама, бежична етернет картица од 2,4 GHz има предност због релативно великог протока (до 11 Mbps), свестраности и ниске излазне снаге и смањених потенцијалних сметњи код осетљивих ГПС радњи. Тренутно, бежични етернет се користи као кичма од више учесника, у систему који се састоји од већег броја БПЛ.

Земаљска станица поседује ГПС, базну станицу и преносни рачунар, намењен за комуникације, затим уређаје за бежични модем или бежични етернет. Такође, из станице се прати и у њој се чувају подаци о лету БПЛ, а из ње се и шаљу командни сигнали за навигацију, на „језику“ управљања.

Веће беспилотне летелице опремљене су уграђеном визијом коју подржавају процесна јединица (енгл. *vision processing unit VPU*) и камере са зумом на платформи. VPU може да прати објекат-циљ у одређеним бојама и израчунава своју координацију на основу навигационих података добијених од рачунара FCC, путем серијске везе. Може се приступити по независном бежичном етернету за праћење и отклањање грешака процеса. VPU опслужује виталну улогу визије

слетања, избегавања објеката на земљи (обилажење препрека) откривање и препознавање слике и плана релевантне зграде.

Очигледна је чињеница да су у пројекту БПЛ примарне софистициране технологије, дигитализације, управљања летом, навигације, сензори (давачи), вештачка интелигенција, роботика и преноси сигнала између летелице и базне командне станице. За остале области првенствено се користе проверене ваздухопловне технологије на серијским пилотираним авионима, уз примену критеријума минимизације габарита и трошкова.

Летелице исте врсте са посадом и БПЛ обично имају препознатљиво сличне физичке компоненте. Главни изузеци су систем за управљање, кабина, окружење пилота и системи неопходни за његов живот и безбедност.

Неке БПЛ носе користан терет (попут камере) који је знатно мање тежине од одраслог човека (пилота). Иако носе велики терет, наоружане војне БПЛ мање су масе од њима еквивалентних летелица са посадом и упоредивим наоружањем.

Мале цивилне БПЛ немају одређене заштитне системе, па се могу израдити од лакших и јефтинијих материјала мање чврстоће. Користе се електронски системи мањих димензија, развијени за управљање летом.

Минијатуризација погона код БПЛ значи да се користи технологија мањих габарита, велике снаге, што није изводљиво за авионе са посадом, веће масе и габарита. Код БПЛ се користе мали електрични мотори и издржљиве савремене електро-батерије.

Командни системи за БПЛ, доста се разликују од решења на летелицама са посадом. Даљинско управљање БПЛ, код пилотираних летелица, замењује пилот, а камере и видео везе, у принципу, замењују прозори кабине. Радио-преносне дигиталне команде замењују механичке или електричне команде лета, из кабине пилота до управљачких аеродинамичких површина. Софтвер аутопилота у принципу је сличан код летелица са пилотом и летелица без пилота али су они различитог садржаја функција.

4.1. ТРУП

Примарна разлика у изгледу кабине између пилотираног авиона и исте шеме БПЛ, јесте у томе што су БПЛ без пилотске кабине и прозора. Често се примењује пројектна шема БПЛ са више хеликоптерских ротора (ротационих крила), најчешће четири или осам. Без репних површина су. Летелице са посадом, познате као хеликоптери, имају један или два ротора, и један мањи репни за уравнотежење момента скретања генерисаног од погонских ротора.

Пројектна шема са четири хеликоптерска ротора (квадратор), постала је популарна првенствено за мале БПЛ, мада се ова шема ретко користи код пилотираних авиона.

Квадратор (четири мотора са роторима, слика 11) због својих предности у широкој примени постепено потискује остале концепцијске шеме пројеката БПЛ. Такође, постоји и са осам погонских комплета (слика 12).

Овакве БПЛ су летеће платформе које су способне да ефикасно и временски дуго аутономно лете безичном комуникацијом. Могу дуго да лебде у месту, без промене положаја, да надгледају околину и прикупљају информације о природним непогодама, временским и другим условима.

Програм за планирање пројеката БПЛ чине приоритетни задаци везани за: комуникације, сензоре, команде лета и управљање прикупљеним подацима. Безични примопредајници користе сигнале послате микрокомандама на управљачке јединице квадратора.

Акцелерометар, жироскоп и магнетометар испоручују сигнале нивоа убрзања, стабилизације и вектора правца летелице. Да би се постигао лет квадратора у жељеним фазама угаоног нагињања, пењања, лебдења или спуштања, мотори мењају режиме рада за постизање одређених сила по одговарајућем алгоритму.

Сензори за надгледање временских услова прикупљају информације по одређеном обрасцу, а ти подаци се даље обрађују. Корисна намена квадратора је надгледање територије и праћење временских прилика, у условима где је учешће човека отежано.

Квадратор је БПЛ која користи четири мотора са роторима за промену висине и брзине лета, управљање и стабилизацију. За раз-



Слика 11. Мала БПЛ са четири хеликоптерска ротора (квадрајор)



Слика 12. БПЛ са осам хеликоптерских ротора

лику од класичних летелица, квадратор може да постигне и стабилно дуго одржи вертикални лет и лебдење без промене висине.

Није оптерећен потребом за конструктивним решавањем компензације момента скретања изазваног обртањем погонских ротора, као код хеликоптера, где се мора за то додати мањи репни ротор. Штавише, за њега је једноставнија укупна реализација пројекта и јефтине му је одржавање у експлоатацији, од класичних авионских конфигурација. Како технологија постаје све напреднија и приступачнија, многи инжењери и истраживачи започели су пројекте и примену квадатора за различите амбициозније намене, реализујући их и у већим димензијама. То исто важи и за БПЛ са двосруко већим бројем мотора са роторима (осам).

Струковне групације, као што су војска, инжењери, истраживачи и хобисти шире лепезу намене квадатора у многим областима. Сходно томе, покренут је велики број пројеката. Томе доприносе велике могућности приложавања квадатора за испуњавање различитих, а често и опречних тактичко-техничких захтева. У том погледу предња че у односу на већину других концепцијских шема БПЛ.

Међутим, постоји и друго елегантно решење, које уједно спаја карактеристике авиона двокрилца и хеликоптера, применом само једне погонске групе (мотора и елисе). Излазни делови, сва четири полукрила, уједно су и додирни делови са тлом при полетању и слетању. Оваква пројектна шема омогућава вертикално полетање, слетање и лебдење, са могућношћу брзе трансформације у авион, релативно брзи и до 110 km/h (слика 13). То је једноставан и веома практичан концепт, који има перспективу масовније примене код пројектовања БПЛ. Такође, он не захтева полетно-слетну стазу за своју примену, исто као и квадратор.

4.2. ПОГОН

Мале БПЛ углавном користе електро-погон, са литијум-полимерним батеријама, док веће погоне ваздухопловни мотори. Величина и маса БПЛ су основне условљавајуће карактеристике за избор типа погона.



Слика 13. Конфигурација БПЛ двокрилца, са једном ионском елисом.



Слика 14. Хелиос

Тренутно, концентрација енергије у литијум-полимерним батеријама је знатно мања у односу на бензин. Рекордни долет БПЛ реализован је прелетом преко Северног Атлантског океана. Структура те БПЛ, била је изграђена од балзе и коже, а за погон је био примењен бензински мотор.

Електрична енергија се поједностављено користи са мање једноставнијих радњи, а електромотори су тихи. Исправно остварен однос између енергије погона и масе летелице са електричним или бензинским мотором који погони елису или ротор може да обезбеди њено лебдење и вертикално пењање.

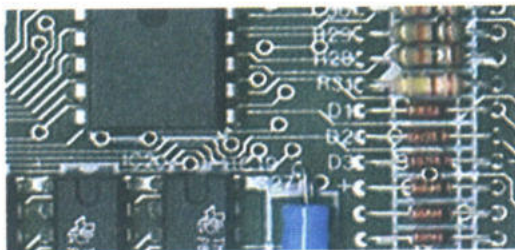
Склоп за уклапање једне батерије, централизацијом и расподелом енергије на све потрошаче, реализује се микрорегулатором. На тај начин се избегава потреба за увођењем више мрежа за енергентско напајање. То смањује губитак енергије на беспотребно загревање платформе и вишка проводника.

Поред погона са електро-енергијом, акумулираном у батеријама, и авионским моторима, све више се истражује и усавршава електропогон са претварањем соларне енергије у електричну. Дobar пример за то је експериментални пројекат авиона без пилота Хелиос (енгл. *Helios*) чије се батерије током лета, пуне електричном енергијом добијеном из соларне (слика 14).

4.3. РАЧУНАРСКИ И ЕЛЕКТРОНСКИ СИСТЕМИ

Примена рачунара у пројектима БПЛ прати општи напредак рачунарске технологије, почевши од аналогне, микродигиталне и интегрисаних система на чипу (енгл. *System on Chip*, SOC), све на једној плочи

(енгл. *Single-board computer, SBC*). Веома је упадљив брз развој рачунарске технологије, али чињеница је да је рачунарска технологија ипак лимитирајући фактор за брзину развоја беспилотног летења, посебно аутономног.



Слика 15. Део штампане плоче рачунара.

Системски хардвер за мале БПЛ, практично се своди на команде лета (енгл. *Single-board computer, FC*), плочу команди лета (енгл. *Flight Control Board FCB*) и аутопилот.

Електронски склоп хардвера састоји се од појединачних електронских компоненти, отпорника, транзистора, кондензатора, индуктора и диода, међусобно повезаних проводницима или у штампаним плочама, кроз које протиче електрична струја (слика 15). Да би се склоп назвао електронским, а не електричним, генерално у њему мора постојати најмање једна активна компонента. Комбинација компонента и проводника омогућава обављање различитих једноставних и сложених операција: појачавање сигнала, рачунарских процеса и преношење података са једног на друго место.

Струјна кола могу бити реализована од дискретних компоненти повезаних појединачним проводницима, али је много чешће међусобно повезивање у штампаним плочама и спајање компоненти лемљењем у јединствену целину, како би се добило потребно интегрално струјно коло. У таквом колу, компоненте и међусобне везе, формирају се на истој подлози, обично полупроводницима.

Систем на чипу (SOC) је интегрисано коло у коме су интегрисане све компоненте рачунара или других електронских система. Ове компоненте обично (али не увек) укључују централну процесну јединицу, меморију, портове за улаз / излаз и секундарну меморију. Све је интегрисано на једном чипу, мале величине (микрочипу). Могуће је да садрже функције дигиталних, аналогних и мешовитих сигнала, а често и радиофреквенцијске обраде истих, у зависности од примене. Како су интегрисани на једној малој основи, SOC-ови троше кудикамо мање енергије и заузимају знатно мање простора у конструкцији са више чипова, задржавајући своје функције. Због тога се SOC-ови веома често користе на рачунару, као и на мобилним уређајима (попут паметних телефона).

Јаши интегрисани рачунарски системи побољшавају перформансе и смањују потрошњу електричне енергије, као и површину полупроводничких матрица потребних за одговарајући пројекат састављен од дискретних модула. Ниво заменљивости компоненти је смањен.

Слика 16. Овај систем на чипу (SOC) не обухвата никакво чување података, што је карактеристично за микропроцесорски чип.



По дефиницији, SOC-ови су конструкције у потпуности или делимично интегрисани кроз различите модуле компоненти. Из тих разлога општи тренд је у смеру веће интеграције компоненти у индустрији рачунарског хардвера. Та лекција је научена и усвојена захваљујући утицају SOC-ова у немилосрдној конкуренцији на тржишту мобилних телефона и рачунара. Системи на чипу могу се посматрати као део значајног напретка развоја рачунара и њиховог хардверског побољшања.

4.4. СЕНЗОРИ (ДАВАЧИ)

Информације о параметрима кретања БПЛ, сагласно броју степени слободе, зависе од броја и квалитета давача (сензора) на летелици: за 6 степени слободе неопходни су жирокопи и акцелерометри око и дуж три основне осе (слика. 17) (типична инерцијална платформа), 9 степени слободе захтева инерцијалну платформу плус компас, 10 степени слободе додатно захтева барометарско мерење надморске висине, а 11 степени слободе додатно захтева пријемник за глобални позициони систем (ГПС).

Давачи положаја и кретања пружају информације о стању летелице. *Proprioceptive*⁶ сензори намењени су да дају податке о спољним



Слика 17. лево: Приказ слобода кретања дуж и оријентације око три осе летелице. Десно: Пример примене система сензора на савременој БПЛ, шеме квадравијора

6 За *proprioceptive* сензоре не постоји одговарајући назив у српском језику.

информацијама попут мерења растојања, интензитета светлости, амплитуда звука, док *exproprioceptive*⁷ сензори узајамно повезују унутрашња и спољна стања.

Неоперативни давачи су у стању да аутоматски открију циљеве и препреке, па се користе за безбедно осигурање, избегавање судара са препрекама, праћење конфигурације терена и за навођење убојних средстава при борбеном дејству. Значајни су радар и оптоелектронски давачи, поготово када се уједине све те информације.

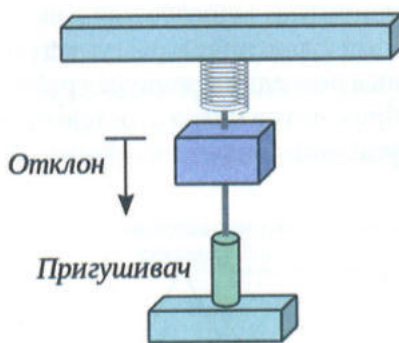
4.4.1. Акцелерометар

Акцелерометар „отвореног кола” састоји се од тела одређене масе везаног за опругу и пригушивач. Те три компоненте су у истом правцу померања, изазваног убрзањем. У складу са карактеристикама крутости опруге телу је ограничено кретање. Убрзање тела услед силе инерције принудно заостаје супростављањем опруге. Интезитет убрзања померљивог тела и целог склопа летелице, изводи се из вредности угиба опруге, то јест од дужине померања покретног тела. Константна карактеристика мере убрзања, добија се подешавањем величине масе тела и крутости опруге. Систем је пригушен уграђеним пригушивачем, због избегавања осцилација тога склопа (слика 18).

При мировању летелице на површини Земље, акцелерометар ће мерити убрзање једнако гравитационој константи $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$.

Високо-осетљиви акцелерометри су важне компоненте инерцијалних навигационих система, који се користе за навигацију код БПЛ. Служе за одређивање положаја и правца, као и стабилност лета БПЛ. Осећају и вишеструко регистрирају параметре кретања БПЛ, то јест одговарајуће тренутне компоненте вектора стања летелице.

Модерни акцелерометри су мали микро-електро-механички системи MEMS (енгл. *Micro Electro-Mechanical Systems*). То су најједноставнији инерцијални уређаји за примену код беспилотних летелица. Они значајно умањују проблеме при повећању вибрација, изазваних покретним деловима склопова погона.



Слика 18. Шематски приказ основног принципа рада механичког акцелерометра

⁷ Такође, ни за *exproprioceptive* сензоре не постоји одговарајући назив у српском језику.

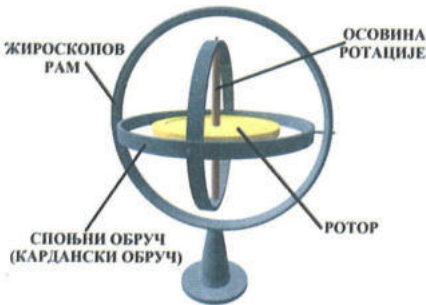
4.4.2. Жироскоп

Два су основна типа жироскопа:

- Механички (слика 19) и
- Оптички (ласерски) жироскоп (слика 20).

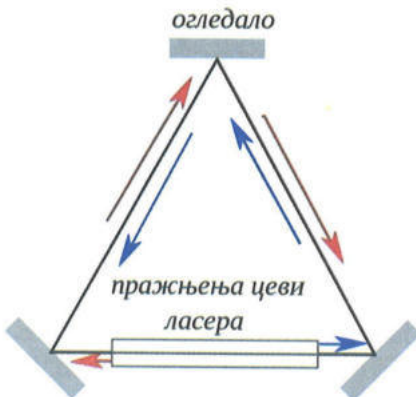
Примена:

- Мерач угаоне брзине,
- Давач за одржавање правца кретања.



Слика 19, лево: Принцип рада механичкој жироскопи са карданским механизмом, са три слободна јрсијена; десно: Принцип одзива механизма жироскопи на спољну јрринуду

Било каква промена положаја осе жироскопа услед дејства спољне принуде, много је мања него што би била без великог угаоног момента супротстављања, услед ротације његовог диска. Због минимизирања последица принуде уређаја преносом присиљавања у кардански обруч, његов положај остаје готово фиксиран, без обзира на било који принудни покрет платформе на којој је постављен уређај.



Слика 20. Принцип рада жироскопи са ласерским рамом.

Измерени ниво тог момента супротстављања закретања правца осовине у пропорционалном је односу са нивоом скретања летелице са претходног правца лета и у том ефекту је суштина намене жироскопа. Интензитет тог супротстављања претвара се у преносни сигнал сразмерног интензитета до одговарајућих система.

Постоје и жироскопи засновани на другим принципима рада, као што су MEMS жироскопи у паковању са микро-

чиповима који се налазе у електронским уређајима, затим ласерски жirosкоп са активним прстеном, фибер-оптички жirosкопи и изузетно осетљиви квантни жirosкопи.

Акцелерометри и жirosкопи су веома важни подсистеми инерцијалног навигационог система БПЛ.

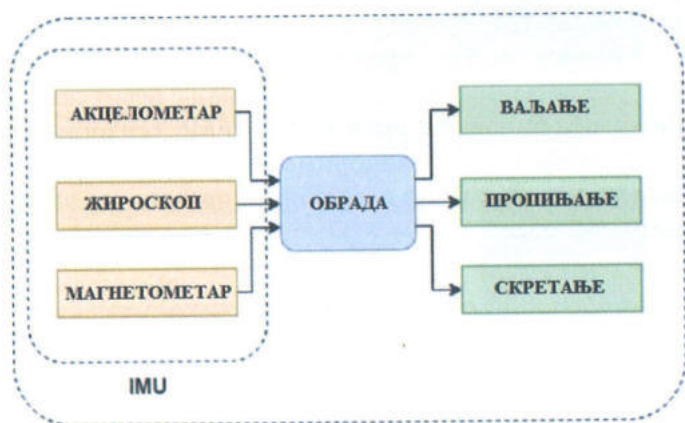
Инерцијални навигациони систем (ИНС) користи податке угаоне брзине и убрзања у функцији израчунавања релативног положаја током времена. Будући да ИНС пружа релативан положај у односу на почетно стање, процесом интеграције брзо губи почетне вредности односно своју стварну позицију у односу на спољно референтно поређење, због сабирања грешака тог процеса. Корекцијска подршка му је глобални навигацијски сателитски систем (ГПС) који му даје информацију о почетним референтним подацима и обезбеђује му податке за исправку грешке током интеграције.

4.4.3. Интеграција сензора и фузија сигнала

Фузија сигнала сензора БПЛ и добијени резултати мерења комбинују се посебним алгоритмом, обезбеђујући најбоље перформансе, смањујући ризик губитка односа података вектора стања летелице према спољним референсама. Комбиновањем техника ГПС-а и ИНС-а, подаци се корекцијом побољшавају у односу на референтне вредности.

Инерцијалне мерне јединице у комбинацији са ГПС кључне су за одржавање правца и тачности трајекторије лета. Пошто је за беспилотне летелице кључни режим аутономија лета, битно је да им се обезбеде услови за придржавање међународних правила летења и контроле ваздушног саобраћаја.

Мерне јединице положаја и правца (енгл. *Attitude and Heading Reference System*) AHRS), поред акцелерометра и жirosкопа, користе и вишеосне магнетометре који су у основи мали компаси високог степена тачности. Они осећају промене правца, о чему уносе податке у централни процесор, што на крају указује на правац, оријентацију и брзину лета БПЛ (слика 21).



Слика 21. AHRS.

Акцелерометри и жироскопи у комбинацији обезбеђују улазне податке о нагибу око све три осе у систем команди лета у функцији очувања безбедног и квалитетног лета БПЛ. Ово је посебно важно за примене у којима је стабилност лета важна, као што је мисија надзора и пренос осетљиве робе.

Ови сензори детектују мале варијације покрета (осцилације). Измерене карактеристике ових осцилација од велике су важности у пројектима покретних објеката за компензацију квалитета њиховог кретања, обезбеђењем одговарајућег пригушења. На тај начин се побољшава динамичка стабилност летелице током лета.

Код беспилотних летелица важна је потрошња и употреба електричне енергије. Тренутни сензори могу се користити за надгледање и оптимизацију потрошње енергије, сигурно пуњење унутрашњих батерија и откривање кварова мотора и других делова система (слика 17, десно). Они мере карактеристике електричне енергије и контролишу изолацију да би се избегли губици и спречавају могућност електричног удара, што је ризик за повреду корисника или оштећење система. То су сензори са брзим временом одзива (малом временском константом) и великом тачношћу, оптимизирају рад батерије, па и перформанси летелица.

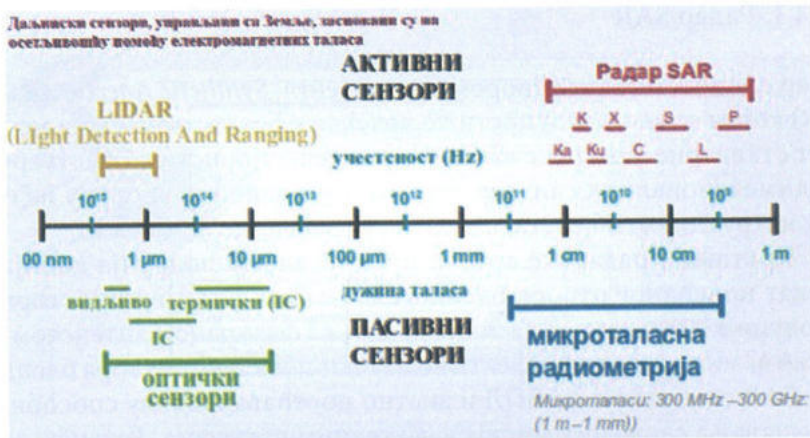
Код БПЛ, електронски компаси дају критичне информације о правцу кретања инерцијалним системима за навигацију и навођење. Анизотропни магнетно-отпорни (енгл. *Anisotropic magnetoresistive* AMR) и пермалонски сензори имају врхунску тачност и карактеристике времена одзива, а притом троше знатно мање енергије од алтернативних технологија, те су погодни за употребу код БПЛ. Пружају услове произвођачима да обезбеде квалитетно снимање података у компактном пакету.

Сензори протока могу се користити за ефикасно надгледање протока ваздуха у малим гасним моторима који се користе за погон неких врста БПЛ. Они помажу моторима да се одреди правилан однос горива и ваздуха у смеси за задати режим рада, што резултира побољшаном снагом, ефикасношћу и смањењем емисије издувних гасова.

Многи сензори протока масе гаса користе калориметријску главицу са грејаним елементом и најмање један сензор температуре да би квантификовао проток масе. МЕМС сензори протока топлог ваздуха такође користе калориметријски принцип, али у микро скали, што их чини изузетно погодним за примене у условима приоритетног смањења масе.

4.4.4. Сензори осетљиви и на великој удаљености

Носеће платформе и сензори на даљинско управљање су технологије које непрекидно и брзо напредују, уз непрестано повећање информатичке инфраструктуре. Опсег и потенцијал перформанси сензора у



Слика 22. Разврставање даљинских сензора

погледу просторних, спектралних и временских способности проширили су се далеко изван традиционалних граница даљинске употребе, што је резултирало знатно бољим могућностима посматрања.

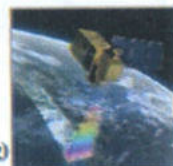
Интензиван је развој платформи са новим сателитским инсталацијама даљинских сензора у функцији оперативног коришћења БПЛ.

Непрестано се истражују и развијају решења за примену сензора у подршци за глобалну навигациону инфраструктуру, која омогућава технологију даљинског снимања.

На слици 22 шематски је приказан преглед група активних и пасивних даљинских сензора различитих таласних дужина, а на слици 23. глобално је приказан њихов могући ефективни учинак.

ОСЕТЉИВИ СЕНЗОРИ И НА ВЕЛИКОЈ УДАЉЕНОСТИ

- Мерење својстава удаљених предмета помоћу наменских инструмената
- Стечене информације
 - просторна (геометријска резолуција)
 - спектрална разлучитост учестаности
 - интензитет, радиометријска резолуција
 - временски (време поновног прегледа)
- Различите врсте сензора на даљинско управљање:
 - оптички и инфрацрвени сензори
 - пасивни:
 - високе резолуције
 - мултиспектрални, хиперспектрални
 - активни: LIDAR (енг. Light Detection And Ranging)



Сентинел-2

Слика 23. Уочишено о сензорима за снимање сцена на великим удаљеностима.

4.4.4.1. Радар SAR

Радар са синтетичким отвором бленде (енгл. *Synthetic Aperture Radar*, SAR) којим се вештачки постиже повећан ефекат у односу на могућност стандарне фазиране антенске решетке. Користи се за стварање дводимензионалних слика, а тродимензионалне се добијају из њих реконструкцијом објеката, као што су грађевине и пејзажи.

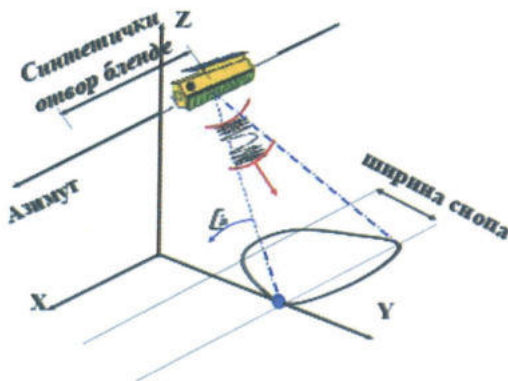
Кретањем радарске антене преко циљног подручја добија се ефекат повећаног отвора бленде, па и слика финијих просторних резолуција у односу на класичне радаре са фазираном антенском решетком, због добијеног ефекта вештачки повећаног отвора бленде.

SAR се уграђује на БПЛ и знатно повећава њихову способност извршавања сложених мисија у захтевним наменама. Развијен је од напредног бочног радара у ваздушном простору (енгл. *side looking airborne radar*, SLAR).

Пут који пређе уређај SAR преко циља у времену које је потребно да се радарски импулси врате на антену, вештачки ствара ефекат повећаног отвора бленде у односу на физичку антену. Ово омогућава SAR-у да ствара слике високе резолуције са релативно малим физичким антенама. Ово својство SAR-а, посебно је корисно за снимање удаљенијих објеката пошто омогућава конзистентну просторну резолуцију у удаљеном и већем дијапазону посматрања.

Да би се креирала слика SAR-а, успешни импулси радио-таласа преносе се на циљну сцену и „осветле“ је, а одјек сваког импулса се прима и снима. Импулси се преносе а њихови одјечи се примају помоћу једне антене која формира сноп таласних дужина од метра до неколико милиметара. Како се SAR-ов уређај на летелици креће, антена се идентично релативно креће у односу на циљ, у функцији времена.

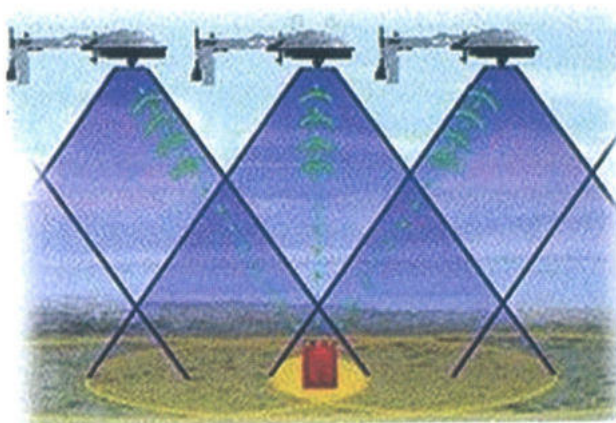
Обрада сигнала успешно снимљених радарских одјека омогућава комбинацију снимака са вишеструко промењених позиција антене. Овај поступак вештачки формира ефекат увећаног отвора антене и омогућава стварање слика веће резолуције него што би то иначе било



Слика 24. Илустрација дела
принципа рада SAR-а



Слика 25. Ефекајѝ и услови рага SAR-а



Слика 26. Шемајѝски ѝприказ SAR-а ѝри слању имѝулса радио-ѝталаса на циљну сцену, „освејѝљава“ ѝа, а одјек свакој имѝулса ѝрима ѝа и снима.

могуће физичком антеном, са стварним отвором бленде. Од 2010. године, системи из ваздушног простора пружају резолуцију од око 10 cm, а ултраширокопојасни системи дају резолуције од неколико милиметара.

SAR је способан за даљинско снимање високе резолуције, независно од висине лета и временских прилика, а поседује значајну карактеристику одабира фреквенција која му омогућује да избегавањне пригушеност сигнала изазвану променом временских услова. Има могућност дневног и ноћног снимања слике, јер увек пружа одговарајуће „осветљење“ циљне сцене.

Пошто је SAR активни сензор и користи микроталасни опсег у широком радио-спектру (слика 27), он има могућност снимања дању и ноћу са великом способношћу продора. До извесне мере може да снима и по киши (слика 28). Микроталасни опсег L и P имају релативно велику дубину продирања у вегетацију и тло, што омогућава добијање информација о унутрашњости циљева. Због ових карактеристика, SAR се користи у разним областима истраживања, од океанографије до археологије.

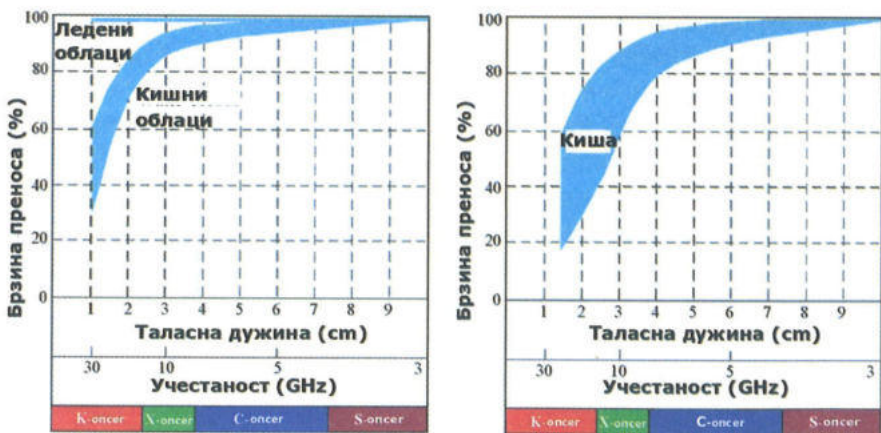


Слика 27. Активни сензор SAR користи микроваласни ојсе у широком радио-спектру.

SAR се користи на беспилоним летелицама за дуготрајно осматрање из ваздушног простора. То је ефикасно у типичним мисијама које временски дуго трају. Често се SAR примењује у условима отежаних временских дешавања, војног надгледања и осматрања околине.

Слике добијене SAR-ом имају широку примену у даљинском управљању летом БПЛ и мапирању површине тла. SAR се користи у топографији, океанографији, геологији (на пример, за дискриминацију терена и снимање дубинских садржаја земље и грађевинских објеката), а и у шумарству (укључујући висину, биомасу и крчење). За праћење активности вулкана и земљотреса користи се диференцијална интерферометрија. SAR се такође примењује за надгледање стабилности цивилне инфраструктуре и екологије, попут мостова, за надгледање животне средине, изливање нафте, поплава, ширење градова, глобалних промена. Војни надзор укључује стратешку и тактичку процену намера противника. SAR се може и инверзно применити, посматрајући покретни циљ током значајног протока времена, у статусу стационарне антене (при лебдењу БПЛ).

SAR је радар за снимање стрип слика, уграђен је на покретној платформи (летелици). Емитовани електромагнетни таласи се пре-



Слика 28. SAR снима дању и ноћу, а до извесне мере може и ђо киши.

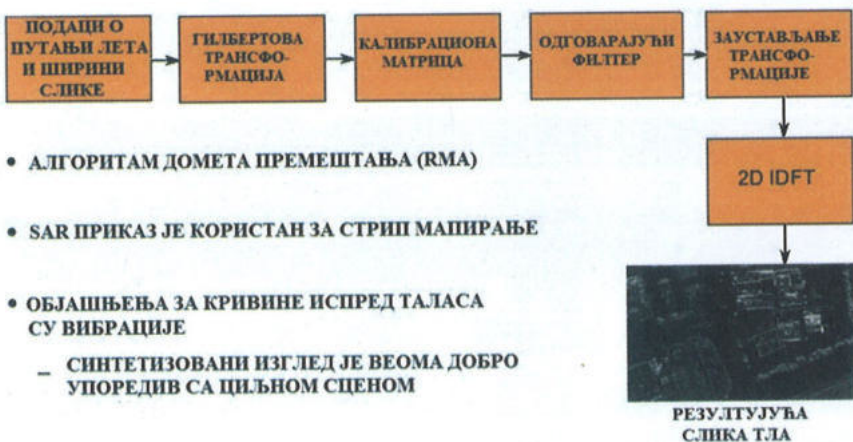


Слика 29. БПЛ са SAR-ом њрелеће њло у ѡренуику снимања.

носе узастопно, одјеци се прикупљају, дигитализују електронским системима и складиште за накнадну обраду. Како се преношење и пријем догађају у различито време, они се пресликавају на различите положаје. Добро уређена комбинација примљених повратних сигнала ствара виртуални отвор бленде који је много дужи него што је физичка ширина антене. Тај процес добијања својства радара за фотографско снимање је основа за увођење назива „вештачки отвор бленде“.

Правац граничног домета снимања је паралелан са трајекторијом лета и управан на правац азимута, који је познат и као уздужни правац, јер је у линији са положајима објеката унутар видног поља антене.

Тродимензиона (3Д) обрада се врши у две фазе. Правац азимута и распона фокусирани су за генерисање 2Д слика високе резолуције (азимутног распона), након чега се користи дигитални модел висине (енгл. *digital elevation model*, DEM) за мерење фазних разлика између сложених слика, које се одређују из различитих углова погледа за више различитих информација о висини. Добијени податак о висини, заједно са азимутним распонем координата које пружа SAR-ово фокусирање на 2Д, даје трећу димензију, а то је надморска висина. Први корак захтева само стандардне алгоритме за обраду. За други корак се користи додатна предобрада као што је корегистрација и фазна калибрација слике (слика 30).



Слика 30. Блок шема функције SAR-а у обради слика циљне сцене

Више базних линија може се користити за проширење 3Д снимања у димензији времена.

SAR ради у X-опсегу, поседује режим праћења и снимања покретног циља (енгл. *moving target tracking and recording mode*, GMTI) са минималном брзином од 2 m/s. Сензор SAR има могућност да производи слике резолуције 1 метра у режиму претраге и резолуцијом 0,3 метра у режиму тачке. Максимални домет снимања је 200 km. Подаци се обрађују у летелици и преносе као некомпримоване слике (8 bpp) или компримоване (2 bpp). За компресију се користе алгоритми (енгл. *Joint photographic Expres Group*, JPEG). Сликe се преносе у (енгл. *National Imagery Transmission Format Standard*, NITFS) формату са екстензијама подршке (енгл. *Self defined ethnicity*, SDE). SAR-ве слике широког подручја (енгл. *Wide Area Airborne Surveillance*, WAAS) сегментиране су. Подаци (енгл. *moving target tracking and recording mode*, GMTI) преносе се као текстуални производ који нуди локацију и брзину распона.

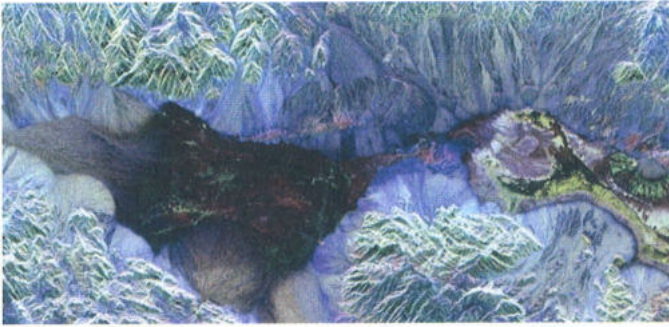
Постоје два начина рада. Режим 1 пружа мапу слика без реперне тачке (локације). То је кретање средишта карте у односу на кретање летелице. Режим 2 је класични режим преликавања трака. Мапирање



Слика 31. Слика је резултат снимача SAR-ом у X- опсегу



Слика 32. Просјор ироучавања је Паракоу, Француска Гијана, које је важно експериментално мeстo за иројске кишне шуме.

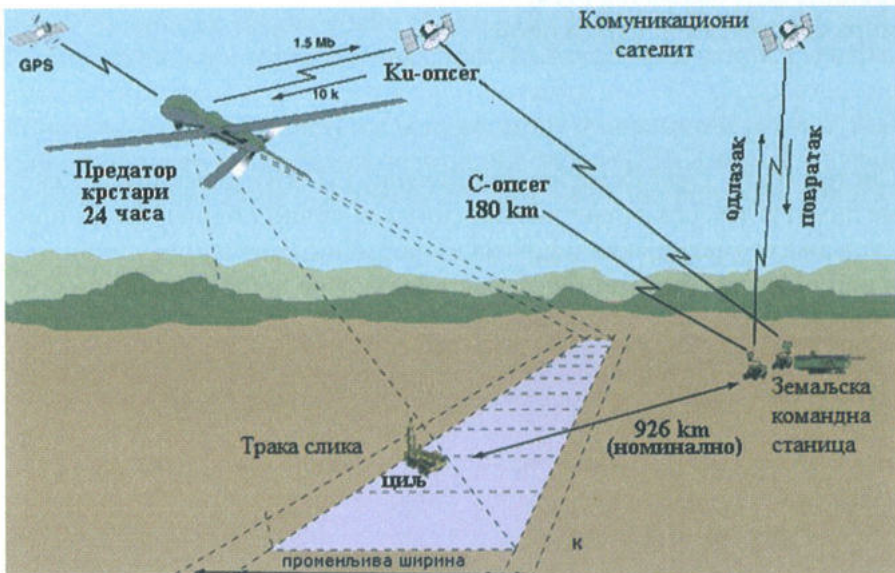


Слика 33. Долина смрти, снимљено SAR-ом помоћу йолариметрије

се дешава преко унапред одређене средишње линије сцене, без обзира на кретање летелице.

SAR је пројектован за мапирање под углом до 45 степени у односу на правац вектора брзине лета БПЛ. При брзини у односу на земљу од 25-35 m/s, ширина траке слика износи 800 метара. При брзинама већим од 35 m/sec, ширина се смањује пропорционално повећању брзине у односу на тло. Подсистем (енгл. *Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar, TESAR*) функционише аутономно извршавајући низ унапред планираних наредби мисије учитаних пре операција, које могу мењати профиле мисије током лета. Компримовани и континуирани SAR снимци нису доступни у режимима рада дуге/ултра-високе фреквенције (енгл. *Length of stay/Ultra high frequency, LOS/UHF*).

Резултати се преносе преко широкопојасне везе од 1,5 Mb/sec сателитским релејом до земаљске станице управљања, ради декомпресије и приказа (слика 34).



Слика 34. Мапирање и систем преноса до командне станице са БПЛ Предрајтор

SAR континуално даје слике од 0,3 метра. Жељена слика се формира у БПЛ, компримира се и шаље у земаљску командну станицу преко Ku опсега линка података. Сlike се подешавају и приказују на начин померања SAR-а, на екранима командне станице. Док се слике крећу, оператер има могућност одабира њених сегмената (приближне површине 800 m x 800 m) за коришћење на командној станици. Сlike се такође континуално снимају на (енгл. *Digital Linear Tape, DLT*) тракама. Подсистем функционише аутономно, извршавајући низ команди за унапред планиране мисије учитаних пре операције, које је могуће мењати током профила мисије, у току лета.

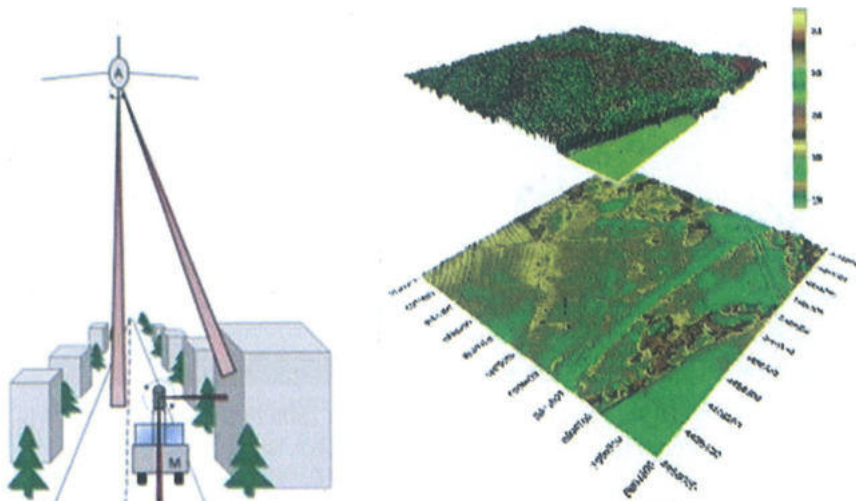
У већини случајева, почетни пројекат SAR-а и летелице одвијају се независно, а сазнањем о конкретној примени, пројектује се његова одговарајућа варијанта за одређену БПЛ или се БПЛ подешава одређеном SAR-у. Овај процес свакако доводи до ограниченог спектра избора за постизање одређеног жељеног циља и не пружа пројектанту система потпуну могућност избора и компромиса. Најповољније је када се развијају интегрисани приступи пројекту оптималном интеграцијом SAR-а и пројекта летелице. Овај приступ омогућава шире могућности примене одређеног SAR-а за конкретну БПЛ.

Постоји више међусобних утицаја између SAR-а и летелице на њихову ефикасност, па и условљеност у њиховој коначној дефиницији и интеграцији. На пример, на снагу радарског одраза утиче величина антене, али величина летелице ограничава њену величину, па и азимутну резолуцију. Брзина летелице утиче на готово све карактеристике, па и на SAR и азимутну резолуцију. За примене које померају границе SAR-ова малих БПЛ, важно је имати на уму да погон летелице мора енергетски напајати обоје.

4.4.4.2. LIDAR

Систем (енгл. *Light Detection and Ranging, LIDAR*), детекцијом у својој домети, ласерски осветљава и снима дотично подручје ради прикупљања геометријских и других информација значајних у цивилној и војној употреби. Применом ове технологије добија се велики број тачака са прецизним координатама, а самим тим и високим квалитетом детаља снимка циљног објекта. Области примене система LIDAR значајне су и вишеструко су корисне. Прикупљају се просторни подаци о елементима саобраћајне и индустријске инфраструктуре, водотокова, нафтовода, гасовода и распореда војне силе и технике за потребе војне тактичке разраде и употребе при доношењу одлука.

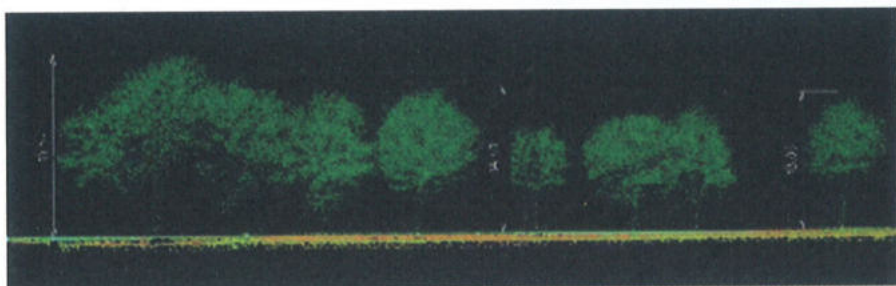
LIDAR технологија функционише на основу светлосних ласерских импулса, мерењем времена њихове рефлексије од циљног подручја снимања до позиције места проучавања. Време се бележи уз



Слика 35, лево: Илустрација скенирања системом LIDAR из ваздушног простора; десно: дигитални приказ снимљеног терена са јасним назначавањем врста и облика вегетације

помоћ сензора. Значи, кључна је временска разлика између тренутка усмеравања ласерског снопа и рефлектованог повратног сигнала. Овај временски интервал се затим претвара у податке о удаљености. Знајући положај и оријентацију сензора, добијају се тродимензионалне координате тачака површине, које омогућавају стварање дигиталних карата терена.

Систем LIDAR имплементира снимање великог броја тачака са великом прецизношћу и брзином (до 500.000 тачака у секунди). Тачност ласерских тачака креће се (+/-) 10 cm по положају и висини. Осим ласера, који могу бити различитих таласних дужина, скенера, оптичких система и фотодетектора, саставни део LIDAR технологије чине и навигацијски системи за навигацију и позиционирање. У том смислу користи се глобални позициони систем (ГПС) који је кључан за тачне информације о положају сензора, као и инерцијални навигациони систем који пружа информације о оријентацији истог у односу на дату локацију



Слика 36. Снимак дигитално обрађен у 3Д. Јасна је висина дрвећа.



Слика 37. Пример 3Д модела, подручје дужине око 1000 m и ширине око 100 m, око железничких станица (Кокемаки, Финска)

Тродимензионална технологија ласерског скенирања датира из шездесетих година двадесетог века, а првобитно је коришћена за откривање подморница из ваздушног простора. Широко се користила после развоја ГПС технологије, која је омогућила позиционирање самог сензора и добијања прецизних геометријских информација. Од деведесетих (када је почела оперативна употреба), LIDAR технологија се интензивно развија и у брзини и у квалитету снимања, као и у методама обраде података.

Предности LIDAR система у односу на класичне методе су брже, ефикасније и економичније прикупљање података и могућност креирања дигиталних модела терена (енгл. *Digital terrain model, DMT*) велике тачности. Са друге стране, помоћу ласерског снопа мање таласне дужине, LIDAR омогућава откривање малих предмета што му даје предност у односу на радар или сонар технологије, које се заснивају на сличним принципима рефлексије.

Искуствено, најефикасније је користити систем LIDAR за снимања терена већег пространства беспилотном летелицом.

LIDAR је примењен као основни сензор на аутономним минибусима (без возача) који се експериментално користе у градском саобраћају, у неколико градова САД-а.

4.5. СОФТВЕР

Софтвер за управљање БПЛ је програмирана логика, закони управљања командама лета, укључујући и аутопилот. БПЛ су системи са чијим летом се управља у реалном времену. Безбедан и прецизан лет БПЛ захтева брзи одговор на промене података сензора (давача) за регулацију (корекцију) лета по жељеним и задатим параметрима вектора стања, као на измену те жеље (команду– RC) од оператора. Постоји више система у примени. Један од њих је и *Хеномал*.

Аеродинамички асиметрични проблем има критичну улогу у реализацији безбедног и стабилног лета БПЛ због техничких грешака у производњи, на шта често утичу и ограничења одабира материјала, а посебно при одвијању лета у условима узбуркане атмосфере. Тај проблем је посебно изражен код малих (лаганих) беспилотних летелица. Применом адекватних алгоритама управљања сузбијају се непожељни ефекти аеродинамичке асиметрије и постиже се стабилан лет летелице.

БПЛ су често мале масе и веома су осетљиве на све грешке и поремећаје. Њихово нестабилно летење мора се спречити посебним мерама. За услове већих поремећаја летелица, пројекат управљања и стабилности садржи примењене технике нелинеарних система. Код већих поремећаја нису примењиве линеарне технике анализе и синтезе система, већ много сложеније.

4.6. НАВИГАЦИОНИ СИСТЕМ

Издаз навигацијске функције је улаз у систем управљања летом, који извршно управља одговарајућом корекцијом положаја командних површина и режима рада мотора са циљем успостављања жељене трајекторије и режима лета.



Слика 38. Упоредни преглед прецизности навигационих система

4.6.1. Инерцијални навигациони систем (ИНС)

Инерцијална навигација зависи од улаза из сензора који се налазе директно на телу летелице и који се не односе на спољашњи вештачки улаз (нпр. ГПС). На тај начин није подложна неовлашћеном подешавању или ометању споља.

Циљ инерцијалне навигације је независна обрада сигнала из уграђених сензора за одређивање брзине и положаја БПЛ.

Кључне компоненте ИНС-а су сензори и веома је важно они да буду исправно постављени и подешени. Намена им је прикупљање података за одређивање тренутног вектора стања БПЛ ради одређивања одступања у односу на референтно стање у оквиру изабраног координатног система.

Систем за инерцијално мерење (енгл. *Inertial Measure Unit*, IMU) (слика 39) у стању је да измери положај (пропињање, ваљање и скретање), брзину, промену висине и инерцијалну силу која делује на БПЛ.

Навигациона функција чини део система за навођење, навигацију и управљање летом. Садржи параметре за израчунавања локације и брзине летелице, као и њене оријентације или положаја (познато као вектор стања). Навигација се ослања на улаз из више сензора и подсистема:

- акцелерометара,
- жироскопа и
- магнетометара.

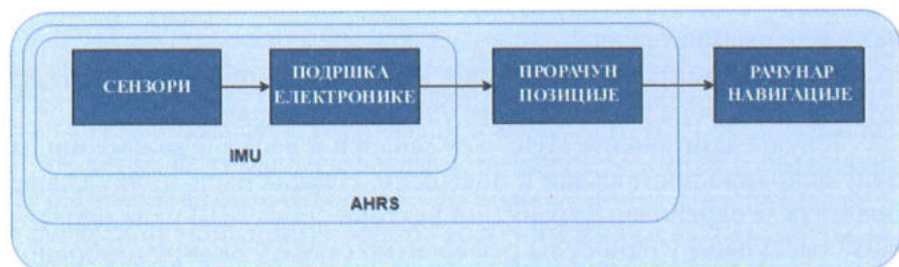
Уређај IMU интелигентно надокнађује недостатке неких сензора тако што осигурава улаз од других мање изазваних, чиме се добија излаз са смањеним сметњама и мањим одступањем (грешкама). Главни проблем са IMU-ом је тај што природно акумулира грешку током времена процеса интеграције угаоне и линеарне брзине.

Систем података о ваздуху мери атмосферске услове у окружењу. Може да садржи сензоре:

- Барометар мери статички притисак, а из тих резултата се срачунава надморска висина лета летелице.
- Статички-питот-систем садржи питот цев и мери укупни притисак ваздуха који чини збир статичког и динамичког. Овај систем се користи за одређивање брзине лета.
- Термометар мери температуру а конструкција му може бити изведена на више принципа. Температура је неопходна за процену густине околног ваздуха. Густина се користи за израчунавање брзине лета из података о динамичком притиску.

Стање БПЛ у односу на референтни систем (енгл. *Attitude and Heading Reference System*, AHRS) одређује се на основу информација од сензора: жироскопа, акцелерометра и магнетометра. Утврђена разлика се обрађује и системски смањује према нули, преко команди лета у које је интегрисан и аутопилот.

Инерцијални навигациони систем (ИНС) (слика 39) намењен је за мерење параметара навигације објекта у простору, користећи



Слика 39. Инерцијални навигациони систем (ИНС)

сензоре, а њихове испоручене податке обрађује рачунар. Промене вектора стања летелице у простору, детектују се мерењем трансляторног кретања акцелерометрима, а ротације жирокопима.

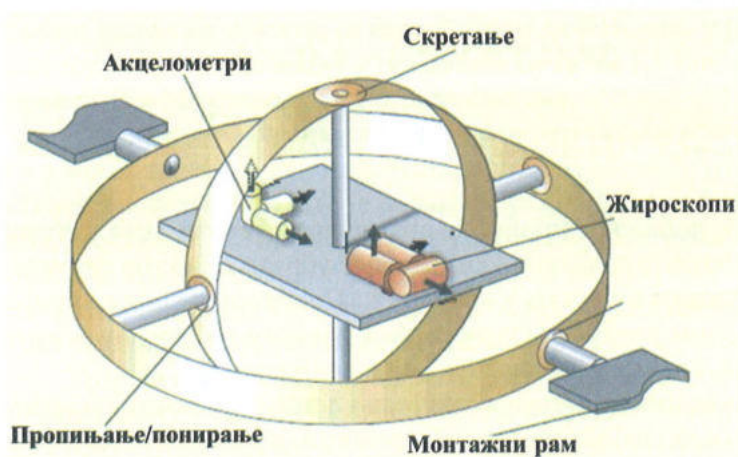
ИНС континуирано преузима пристигле сигнале из сензора, на основу њих рачуна параметре навигације и упоређује добијене резултате, у односу на референтно стање (почетно, у статусу фиктивног мировања летелице) или на неко ново преузето. На тај начин, одређује се оријентација и брзина БПЛ-це у реалном времену.

Параметри кретања БПЛ у простору одређују се без потребе за сталним референтним поређењем у односу на спољно окружење. ИНС функционише сагласно кретању БПЛ тако што мери кинематске параметре за шест степени слободе, три translације (дуж три осе) и три ротације (око њих) без потребе да се ослања на спољне референце.

Концепт инерцијалног навигационог принципа заснива се на мерењу убрзања у трансляторном кретању дуж оса и угаоних брзина, ротације око оса. На основу познате масе и измерене силе инерције рачунар одређује убрзање и на основу силе прецесије угаону брзину. Велики недостатак ИНС-а су одступања у мерењу расположивим сензорима. У пракси се то превазилази са комбинацијом ИНС-а и других навигационох система. На пример, у комбинацији системом ГПС, добијају се апсолутни подаци положаја сваке секунде, док сам ИНС интерполира средње вредности. Употребом Калмановог филтера, у одговарајућој петљи регулисања, грешке мерења ИНС-а своде се на минимум.

За инерцијални навигациони систем, везани су појмови: инерцијална референтна платформа (слика 40), инерцијални инструмент и инерцијална мерна јединица.

Полазна тачка принципа је детекција убрзања и ротације, помоћу инерцијалних сензора. Убрзање тела у простору, одређеног интензитета и правца, познато је преко сигнала из сензора. Узима се



Слика 40.
Инерцијална
платформа

у одређеним временским тренуцима, по „корацима“, па се у том процесу и интегришу током времена. Резултати интеграције су брзина, промена положаја $s_{(t)}$ (пређени пут) и угаона позиција тела. Пређени пут у функцији времена $s_{(t)}$ добија се после друге интеграције сигнала из акцелерометра (прва даје брзину).

Елементарно, тај процес приказан математичким једначинама, заснован је на Њутновим законима механике:

$$m \cdot \ddot{s}(t) = m \cdot \frac{d^2 s(t)}{dt^2} = m \cdot a(t) = \sum_I F^I$$

Прорачуни укупног убрзања летелице (укључујући и гравитациону константу) могу бити изведени на директан начин.

$$\frac{ds}{dt} = v \quad \mapsto \quad \frac{dv}{dt} = g + a_T$$

Од почетне брзине и полазног положаја летелице (или било ког другог реперног објекта) следи интеграција током времена, између два временска тренутка пријема података сензора.

Исто важи и за угаоне брзине које се могу конвертовати утврђивањем угаоне прецесије сензора (жироскопа) са једноставном интеграцијом током времена у угао нагиба у глобалном простору. ИНС даје укупно симултано мерење шест променљивих у три међусобно ортогонална правца у простору. Они се односе, на три трансляторна степена слободе са три убрзања и три ротације сопственим угаоним брзинама.

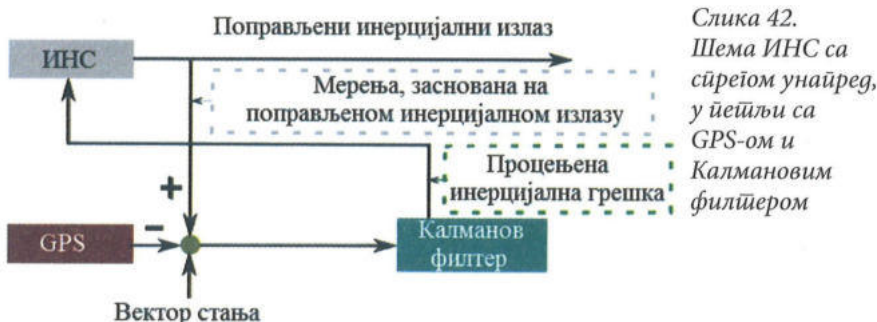
У последњој једначини $s_{(t)}$ одређује се положај летелице. Вектор брзине v , у односу на инерцијални референтни оквир. Вектор убрзања дефинисан је као последица разлике између потиска и отпора летелице. Вектор укупног убрзања представља збир a и g . Једноставан прорачун положаја и брзине летелице заснива се на једначинама разлика првог реда које имају облик:

$$\Delta v_a(t_n) = v_a(t_n) - v_a(t_{n-1})$$

$$s(t_n) = s(t_{n-1}) + v(t_{n-1}) \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot g_{n-1} \cdot (\Delta t)^2 + \frac{1}{2} \cdot \Delta v_a(t_n) \cdot \Delta t$$

Вектор v_a добијен је процесом интеграције без узимања у обзир утицаја компоненте силе од гравитационог убрзања. Вектор гравитације g_n је функција положаја у времену t_n . Пошто се брзина ажурира помоћу просечне вредности гравитације у једном интервалу за временски корак, овај метод се назива „просечни g метод“.

Пажљивом анализом грешака кретања летелице у Земљиној орбити, показало се да овај алгоритам даје грешку за пређени пут од 100 m,



Слика 42.
Шема ИНС са
сирејом унапред,
у њејњи са
GPS-ом и
Калмановим
филтером

сателитски навигациони систем као што је ГПС. Правилним комбиновањем информације из ИНС-а и ГПС-а добијен је систем ГПС / ИНС којим се елиминира појава грешака у положају локације и у брзини објекта кретања. Осим тога, ИНС се може користити као краткорочно средство док су недоступни ГПС сигнали, на пример кад возило изоловано пролази кроз тунел.

Калманов филтер (КФ) веома је делотворан стохастички процењивач (судија) у навигацији. Он је оптимална комбинација, у смислу минимизације варијација одступања, између вредности претходних параметара и тренутних стварних. Он је изузетно ефикасан и свестран у процедури уједињења бучних сигнала сензора, за процену стања система са неизвесном динамиком. У бучне сигнале (излазе) сензора укључују се и излази из ГПС-а и ИНС-а. У стање система може да се укључи положај, брзина и укупна динамика летелице. Неизвесна динамика укључује и непредвидиве поремећаје параметара сензорских сигнала или поремећаје изазване од пилота или спољних поремећаја (као што су удари ветра).

Калманов филтер користи се за процену грешке уведене у систем због грешака жirosкопа и акцелерометра. Ове грешке су у формату вектора стања x_k у односу на измерене вредности помоћу ГПС-а, облика z . Грешке теже нултим вредностима, уз помоћ ГПС-а система у петљи регулације спрега-унапред, са укљученим Калмановим филтером у њој (слика 42).

4.7. КОМАНДЕ ЛЕТА, УПРАВЉАЊЕ И СТАБИЛНОСТ

Приликом пројектовања, анализи и синтези управљања и стабилности БПЛ користе се линеарне и нелинеарне технике моделирања. То зависи од конфигурације и аеродинамичке шеме летелице и услова лета које она подноси.

Генерално, БПЛ имају различите врсте начина управљања које се могу бирати у зависности од потреба операције. Постоје три начина управљања која су најчешћа и позната под различитим именима Користе се отворене, затворене и хибридне архитектуре:



Слика 43. Интеграција система лета БПЛ и њихова међусобна измена информација

- Отворена шема даје директни управљачки сигнал (за брже кретање, спорије, лево, десно, горе, доле), без укључивања повратних информација из података сензора, преко повратних спрега.
- Затворена шема укључује повратне информације сензора преко повратних спрега и упоређивача за регулацију понашања летелице. Грешка (разлика) између жељене вредности и тренутно остварених параметара вектора стања принудно се своди према нули. Овај систем ефикасно ради у линеарном домену регулације међусобног одступања оствареног од заданог (жељеног), свођењем разлике према нули.
- Најчешће се комбинују ове две архитектуре у захтевнијим пројектима.

Уопштено, ови режими управљања се користе на свима врстама БПЛ. Међутим, професионалне имају напредније и софистицираније аутопилоте. Од њих се захтевају сложеније и квалитетније карактеристике стабилности и управљања, а све више и аутономни лет.

Полуаутоматски и ручни начини управљања имају и функцију обуке и тренаже пилота БПЛ. Ово је корисно јер су за неке операције обавезни посебни облици лета, у зависности од захтева надлежног ваздухопловног ауторитета.

Режим аутоматског управљања био би уобичајени режим управљања аутопилотом који се може деактивирати у било које време током лета како би пилот могао ручно да управља беспилотном летелицом.



Слика 44. Глобална шема ујрављања беспилојном летелицама

При ручном начину управљања (RC) пилот у потпуности управља беспилотном летелицом диктирајући положаје управљачких површина преко палице (*џојстик*), што резултује одговарајуће померање сервопокретача командних површина и „гаса“ (потенциометар, код електромотора). Пилот мора бити довољно вешт и увежбан у овом режиму директног управљања пошто је сам, без помоћи и корекције од стране аутопилота (слика 44).

Полуаутоматски начин управљања еквивалентан је ручном режиму, али у томе му помаже аутопилот. У овом случају, пилот командује преко аутопилота који прима његове сигнале саопштене преко палице (*џојстик*), аутоматски стабилизовани командни сигнали преносе се на командне површине и „гас“ преко сервопокретача. У суштини, особа без претходног знања о пилотирању може ручно да управља беспилотном летелицом на овај начин. Аутопилот контролише положај летелице, док пилот ручно управља висином, брзином или другим реперним параметрима лета.

Поред осталог, примењује се алгоритам за подешавање крмила изван управљачке мреже, под претпоставком да је присутна асиметрија производње БПЛ.

Симулације показују да метода линерног регулисања прилично добро побољшава сигурност континуалног и стабилног лета БПЛ.



Слика 45. Типична шема за ујрављање летом БПЛ аутопилотом

Притом је веома важна инжењерска изводљивост овог управљања. Имајући то у виду, наведени метод има велику примену у практичном инжењерству

Савремене команде лета беспилотне летелице прате своје корене од принципа радио-вођења (RC) чији су корени у патенту генијалног Николе Тесле. Историјски гледано, у почетку је пилот искључиво директно управљао летелицом, радио-везом (RC).

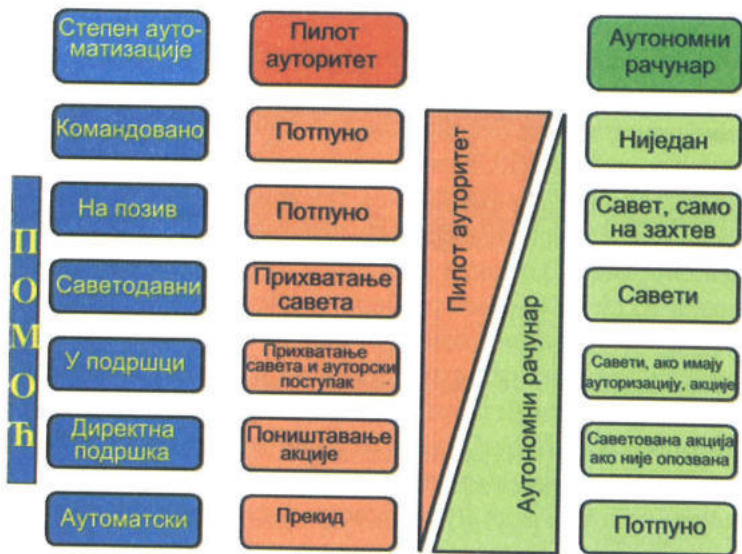
Данашњи системи за команде лета имају на располагању велики избор сензора, а то су ГПС, сензори барометријског притиска, сензори за брзину и многи остали који сачињавају њихову широку листу. Главни допринос у прорачуну параметара лета и даље су жироскопи у комбинацији са акцелерометрима. Као што сам назив наглашава, акцелерометри мере убрзање-изазвано инерцијом, оштрим маневром $n \cdot g$ или силом заустављања, али то није довољно. Интензитет маневра „збуњује” систем који треба да функционише искључиво на подацима акцелерометра. То се решава укључивањем жироскопа. Мерећи интензитет ротације око оса, добијени резултати са жироскопа су основа за одређивање угла нагиба око његових оса, услед те ротације летелице.

Беспилотна летелица шеме хеликоптера користи репни ротор да би спречила активни утицај обртног момента главног ротора на реактивно ротирање целе летелице. Активним моментом ротације ротора генерише се реактивни, који се преноси и принудно делује на ротирање целог тела хеликоптера. Све то сјајно функционише кад се усагласи уравнотежење, али и даље може бити проблем, посебно за пилоте почетнике.

Овај проблем је решен увођењем жироскопа. Његов месингани ротирајући елемент, велике масе, нагиње се као одговор на окретање хеликоптера. Ефекат тог нагиба сензор шаље у виду сигнала-наредбе задњем ротору да спречи ротацију тела хеликоптера. С годинама, механички жироскопи су замењени чврстим микро-електро-механичким системима, жироскопима – микроконтролорима (енгл. *Micro*



Слика 46. Лейна њосага БПЛ у заједничкој бази (LSA Анаконда), Ирак, 20. април 2005. године.



Слика 47. Сћејени аутономије БПЛ

Electro-Mechanical Systems, MEMS). Микроконтролори су ушли у масовну употребу и омогућили су развој напредних пројеката.

4.7.1. Аутономија лета

Системи за мерење стања летелице примају и обрађују снимљене сигнале од сензора и успостављају њихову фузију посебним алгоритмима ради бржег и континуираног постизања жељеног режима лета. То је кључни задатак за ефикасност формираних управљачких шема са одговарајућим петљама аутономног управљања.

Специјална агенција UN (енгл. *International Civil Aviation Organization, ICAO*) класифицирала је БПЛ на даљински управљане и потпуно аутономне. У практичној примени, БПЛ су са комбинованим управљањем и припадају групи средњег степена аутономије. На пример, летелице са даљинским управљањем у већини случајева могу имати аутономно враћање у базу.

Основа аутономије заснива се на употреби сензора за мерење вредности унутар комплетног система. Међутим, напредна аутономија допунски захтева ситуациону свест, сазнање о окружењу око летелице обезбеђено сензорима напредне технологије, са фузијом свих сигнала и интегрисаних добијених информација.

Аутономно управљање се постиже помоћу вишеслојних управљачких петљи, што је принцип код свих хијерархијских система управљања.

Од 2016. године, у примени управљања летом су петље ниског слоја код којих се инпулси чак откуцавају 32.000 пута у секунди, док

Слика 48.
Основе
аутономној
ујрављања
БПЛ



петље вишег нивоа могу једном у секунди. Принцип је да се поузданије и лакше мења понашање летелице са командама управљања, при познатим прелазним процесима. Најчешћи механизам управљања који се користи у овим слојевима је регулатор пропорционалних интегралних дериватива (енгл. *proportional integral derivative*, PID) који се може користити за постизање лебдења квадратора помоћу података од уређаја за инерцијално мерење (енгл. *Inertial Measure Unit*, IMU), са прецизним прорачуном улаза за електронске регулаторе брзине и режима рада мотора.

Извршиоци развоја планова хијерархије задатака БПЛ користе методе попут претраживања опшег стања или генетских алгоритама.

Примери за алгоритме средњег слоја:

- Планирање пута, његово оптимално одређивање, на којем се летелица мора кретати уз испуњавање циљева и придржавање ограничења мисије, попут препрека или обезбеђености потребног горива.
- Пројектовање путање (планирање кретања), одређивање управљачких маневара да би се пратила одређена трајекторија лета, од једне локације до друге.
- Регулација путање, ограничавање летелице унутар дозвољених одступања на путањи.

Произвођачи БПЛ обезбеђују посебне аутономне операције, као што су:

- Самоподешавање, стабилизације стања на услове терена и ротације око оса.
- Одржавање задате висине—летелица одржава висину лета користећи барометарске или земаљске сензоре.
- Задржавање положаја, одржавање угла пропињања, попречног нагиба и скретања, стабилности лета и надморске висине, уз одржавање позиције помоћу сателитске навигације.

- Посебан режим, управљање нагибом у односу на положај пилота а не у односу на осе летелице.
- Безбрижно, аутоматско управљање ваљањем и скретањем током хоризонталног лета.
- Полетање и слетање коришћењем разних ваздухопловних или земаљских сензора и система.
- Безбедност у случају појаве грешке, аутоматско слетање или повратак у базу након губитка управљачког сигнала.
- Повратак кући враћањем на локацију полетања (често се прво повећа висина лета да би се избегле могуће препреке због конфигурације тла испод трајекторије лета).
- Придржавање процедуре—одржава се релативна позиција према реперном објекту, користећи сателитску навигацију, препознавање слике или матични сигнал.
- ГПС навигација, провером коонтролних тачака на трајекторији лета: употреба сателитске навигације за навигацију до средње локације на путу трајекторијом.
- Орбита око објекта—летелица непрекидно кружи око циља (слике 49 и 50).
- Унапред програмиране летачке фигуре, као што су ваљање и петље.

Данашње БПЛ комбинују даљинско управљање, вештачку интелигенцију и рачунарску аутоматизацију, интегрално у аутономни лет.

Савременије верзије могу имати уграђене команде лета са даљинским управљањем и помоћне системе аутоматизације за помоћ пилоту у управљању у радњама нижег нивоа као што су одржавање брзине, стабилизација на путањи и одређене функције навигације за задату трајекторију. Овако софистициране системе погрешно је називати „трутом“ (дроном), напротив, то су „паметне“ летелице, поготово што могу већи део своје трајекторије да излете и без људске интервенције, па чак и да изаберу и донесу поједине одлуке. Те могућности се интензивно повећавају са развојем напредних технологија.

Произилази да старије беспилотне летелице уопште нису биле аутономне. Област аутономије БПЛ је новији појам и у сталном је развоју, чије финансирање је у великој мери вођено војним приоритетним потребама за престиж у ефикасности. У односу на производњу хардвера БПЛ, тржиште за технологију аутономије прилично је незрело и неразвијено. Због тога ће аутономија и даље бити уско грло развоја будућих БПЛ. Ова област је под технолошком и привредном тајном, а још више је заштићена у војном сегменту.

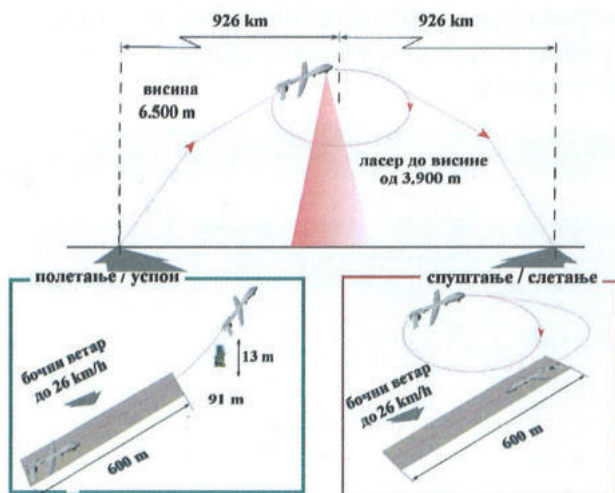
Аутоматски начин управљања омогућава БПЛ да изводи операције потпуно самостално без учешћа пилота, што омогућава једном пилоту (оператору) да истовремено управља са више примерака. У овом случају, аутопилот, подршком специфичног софтвера, извршава

различите фазе лета које пилоту омогућују надгледање операције. Ове фазе се састоје од праћења путних тачака руте у унапред одређеном правцу и смеру лета за обављање полетања и слетања, маневрисања лебдења, крстарења и још многих других могућности.

Понекад се током операције са унапред подешеном путањом може појавити допунски конкретни интерес за неку измену на основу нових прикупљених текућих информација и непланираних потреба. У том тренутку систем може упозорити на ту могућност и предложити да се пређе на управљање камером у режиму вођења по праћењу дешавања на видео-снимку. Кроз овај режим управљање БПЛ преузима се интуитивно, циљајући камером према одлуци оператора и омогућавајући аутопилоту да прилагоди (усклади) лет, држећи га стабилним и контролишући га директно у назначеном правцу камером. Овај начин управљања је посебно користан за примену у задацима праћења возила, надзора граница и у другим сличним мисијама.

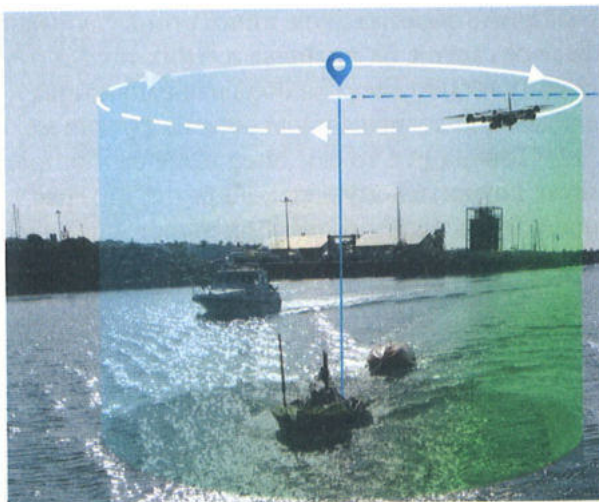
У перспективи је видео-пренос камером са летелице у реалном времену, даљинским снимањем помоћу HD TV (високе резолуције), са дневном бојом тренутног времена и црно-сиво-бело ноћу, при светлости звезда. Снимање терена подржано је додатном уграђеном електроником. Функције кретања и пропињања омогућују системи за аутоматско праћење терена и снимање дуж путање.

Једно од најновијих укључивања у напредне начине управљања аутопилотом јесте „следите мој пут”. Овим новим режимом управљања, уместо да следи покретни циљ, БПЛ следи путању којом тај циљ пролази, тако да ако крене истом провереном стазом, избегава сударе са истим фиксним препрекама. Једноставно речено, БПЛ са тако подешеним аутопилотом избегава сударе са препрекама на томе путу на исти начин као и покретни циљ испред себе који прати, пошто их је он већ избегао, крећући се испред.



Слика 49. Типични профил лета БПЛ у задацима надгледања

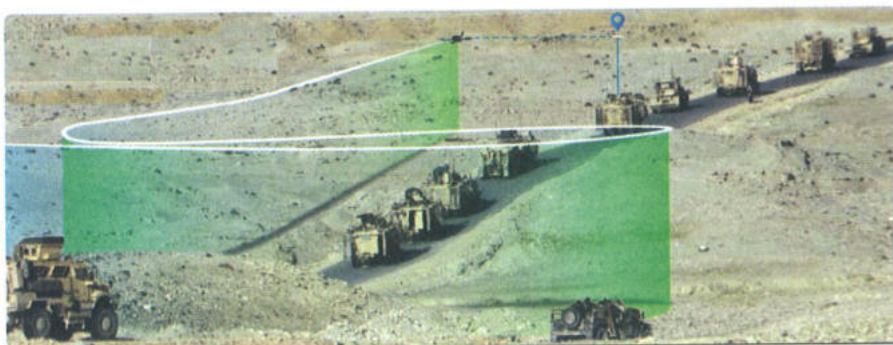
Слика 50. Режимом надзора, уйравља ауїойилої.



Приликом коришћења аутопилота, за унутрашње подешавање параметара мисије није потребна интервенција човека. Типичне функције аутопилота укључују: полетање, пењање, методе и врсте маневара у лету, праћење трајекторије између путних тачака, навигацију, спуштање, слетање, анализу сензора, телеметрију, одлучивање и понашање у мисији преко уграђеног софтвера рачунара лета. Мапирање за пресликавање на интернет и са интернета преко уграђеног рачунара лета IMU може се приказати помоћу Гуглових мапа и мобилног телефона са андроид системом. Извештавање са фотографијама и сликама укључује: проналажење интересних тачака и праћење покретних циљева.

Фузија и интегрисање информација сензора, аутоматски се комбинују добијени податци, по приоритету за потребе система беспилотне летелице.

Комуникација је управљање са преносом информација, наредби и координација између више учесника и у условима међусобно непотпуних и несавршених података.



Слика 51. Уйрављање надїледањем, на великој удаљеносїи.

Одређивање трајекторије лета је избор оптималне путање лета за БПЛ при дефинисаној мисији, при избегавању сусрета са одређеним циљевима и поштовање ограничења у току исте, као што су физичке препреке или количина горива.

Генерисање управљања по заданој трајекторији је одређивање оптималног управљања за жељени маневар да би се следила задата трајекторија или оптимални прелет са једне локације на другу. Стандард кретања по трајекторији је специфичан захтев стратегије управљања са ограничењем одступања беспилотне летелице, у оквиру прописане величине на путањи (дозвољено одступање од задатог).

Расподела задатака је њихова оптимална подела међу учесницима у оквиру групе, условљена временом и ограничењима расположиве опреме.

Здружена тактика је избор оптималних тактичких секвенци и просторног распореда активности међу учесницима са циљем повећања укупне ефикасности и резултата у оквиру целе мисије.

У општем смислу, аутономија се обично дефинише као способност да се доносе одлуке без интервенције човека. У том смислу, циљ аутономије је да се БПЛ „научи“ да буде „паметна“ и да се понаша што сличније као кад њоме управља човек. Та особина може да се повеже са развојем области вештачке интелигенције, експертских система, неуронских мрежа, машинског учења, са роботиком и визијом.

Међутим, пут технолошког развоја у области аутономије, углавном је следио приступ одоздо нагоре, као што су хијерархијски системи управљања. Новији резултати су у великој мери добијени на основу искуства у области теорије управљања (аутоматике), а мање рачунарске струке. Сходно томе, аутономија ће наставити даље да се развија првенствено кроз теорију управљања, аутоматике, роботике и вештачке интелигенције.

Развој технологија аутономије БПЛ тежи циљу да се што више замени човек пилот као обавезни учесник управљања летелицом. Остаје да се види да ли будући развој технологије аутономије може



Слика 52, лево: Станица за управљање са БПЛ; десно: са приказивачким екранима и даљинска синтетичка кабина летелице ХиМАТ

бити ограничен политичком климом око њене употребе у одређеним применама БПЛ. Резултат тога је да вештачка визија за пилотирање није способна да достигне ниво човека пилота. Може само да му се приближи. НАСА је користила синтетичке визије за пробне пилоте на програму ХиМАТ почетком осамдесетих годинама прошлог века (слика 52). Увођењем аутономије лета БПЛ, атопилотом вишег технолошког нивоа, знатно се смањује обим коришћења вештачке визије.

4.7.1.1. Истраживачко-развојни пројекат БПЛ за аутономни лет

Један пројекат аутопилота за аутономно беспилотно летелење развијен је на Чешком универзитету у Прагу. Тај развој је мотивисан жељом да се та захтевна технологија приближи заинтересованим ко-рисницима.

Приказани су умрежени хијерархијски расподељени управљачки системи и њихова хардверска и софтверска структура детаљније је описана. Представљен је математички модел мале БПЛ, а разматрана је методологија идентификације и процена стања помоћу Калмановог филтера. Предложени су алгоритми управљања, засновани на приступу пропорционалног интегралног управљања (енгл. *proportional integral control*, PI), квантне гравитације у петљи (енгл. *Loop quantum gravity*, LQG) и нумеричком решавању Рикатијеве једначине (енгл. *state-dependent Ricatti equation* SDRE), усредсређено на БПЛ, укључујући сложени хијерархијски пројекат аутопилота. Ти блокови (или чворови) целог садржаја команди лета међусобно су повезани електричном мрежом (енгл. *Controller Area Network*, CAN). Представљани су стварни подаци мерени током испитивања експерименталне БПЛ.

Осим широке војне примене, БПЛ су присутне и у многим гранама привреде, а веома су занимљиве и за академска истраживања јер се могу користити у различите сврхе, као летеће лабораторије, објекти за контролне алгоритме или као алат за образовање и вежбе студената. Због тога расте потражња за управљачким системима БПЛ и многим одговарајућим пројектима, како комерцијалним тако и за научне намене, са циљем развоја што савршенијих аутопилота за БПЛ. Много је импресивних резултата већ постигнуто, а многе ВПЛ, мање или више већ су аутономне. Користе разна сценарија режима самосталног лета. 12.11.2020.

Са становишта, пројекта аутопилота, БПЛ представља велики изазов. Веома је сложен мултидисциплинарни процес који обухвата дисциплине од пројекта хардвера, сензора, мерења, програмирања умрежавања итд. до математичког моделирања и теорије управљања, вештачке интелигенције, роботике, обраде слике и сигнала. Зато је овај процес веома интересантан за истраживаче из разних области,

а у томе има још увек пуно простора за побољшања и нове приступе, пошто је ово релативно ново поље, свеже и још недовољно истражено и развијено.

WiFi комуникација није критична код БПЛ, пошто се користи само за телеметрију и даљинско надгледање система. Команде за аутопилот (аутоматско/ручно пребацивање режима рада и жељене вредности за команде), шаљу се путем система моделарске RC, која је много поузданија и има пуно шири распон. У будућности WiFi везу ће заменити неки бољи систем. Свесно се користи само привремено, како би се убрзао развојни процес. Улазне податке управљања, као што је тренутни положај летелице у простору, пружа навигациони блок у коме је јединица за мерење инерције (IMU) и систем за глобално позиционирање (ГПС) (слика 53).

Тренутно се систем проширује троосним магнетометром ради поједностављења одређивања правца и смера.

До сада су се углови нагињања летелице одређивали мерењем убрзања. Убрзање које изазива инерцијална оптерећења може се разградити у три компоненте, паралелно са осама летелице. Те се компоненте мере акцелерометром, а угаона вредност одређује се интеграцијом угаоне брзине. Недостатак ове методе је у томе што акцелерометри мере не само убрзање летелице већ и гравитационо убрзање g . Те добијене вредности се међусобно суперпонирају.

Убрзања летелице могу се издвојити помоћу нископропусног филтера, али то уводи кашњење процеса система, односно повећава кашњење одзива система на командни сигнал.

За почетно математичко моделирање довољне су ознаке регулатора лета, према изабраном добро познатом моделу компоненти вектора стања: $[u, v, w, p, q, r, \theta, \phi, \beta_1s, \beta_1s]$, где су u, v, w компоненте



Слика 53. Блок шема система аутономног управљања

брзине летелице, p , q , r су угаоне брзине око оса, $[\beta_{1c}, \beta_{1s}]$ параметри који се односе на погонске роторе (ако је варијанта са њима).

4.7.2. БПЛ класичне аеродинамичке шеме

БПЛ класичне аеродинамичке шеме у основи су природно стабилне. То су летелице са узгонским површинама, непокретним крилом и најчешће са хоризонталним и вертикалним репним површинама које их уздужно и бочно стабилизију. На овим стабилизираћим узгонским површинама постављене су обртне површине команди лета за управљање око све три осе координатног система (слика 54).

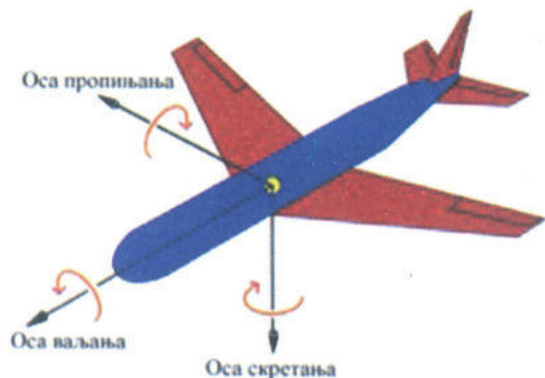
Код њих се првенствено користе линеарне технике за анализу и синтезу управљачких петљи, што је искуством доказано као задовољавајуће. Садржај вектора стања система истог је облика као и код пилотираних летелица (исте или сличне аеродинамичке шеме).

Напредне борбене БПЛ су у развоју по сличним критеријумима као и пилотирани борбени авиони (ловци) пете генерације. Код њих је приоритет максимално смањена уочљивост.

То се постиже увођењем напредних технологија:

- Применом композитних материјала који не рефлектују радарске зраке.
- Минимизацијом радаске рефлексије „оквашених” површина, њиховим оптималним обликовањем сложеним рачунаским алгоритмима.
- Скривеношћу усисника ваздуха, издува мотора и наоружања (у „бункерима” у трупу).

За те захтеве се најчешће користи аеродинамичка шема тзв. „летеће крило”, по узору на амерички бомбардер смањене уочљивости Б-2 спирит (енгл. *Northrop Grumman B-2 Spirit*). Типични примери тих концепцијских решења су европска експериментална БПЛ Неурон и руска Охотник, које су приказане у посебном поглављу ове



Слика 54. Класична аеродинамичка шема

књиге. Ова решења са аеродинамичком шемом „летеће крило”, препознатљива су по томе што су без репних површина, са скривеним усисником на леђном делу трупа (на месту кабине пилотираног авиона), скривеним издувом млаза гасова мотора и скривеним наоружањем у „бункерима” у трупу.

Осим што конфигурација „летеће крило” омогућава ефикасну интегралну оптимизацију обликовања „оквашених” површина за минимални радарски одраз (минималну површину радарског пресека), поседује и друге предности у пројекту. Олакшава конструкцију носеће структуре, мање масе за захтевану чврстоћу и крутост. Такође, олакшава ефикаснију примену технологије композитних материјала за градњу носеће структуре (једноставнијим алатима) и већи унутрашњи простор за смештај горива и наоружања.

Код конфигурације „летеће крило” дуже су локалне тетиве крила летелице, што доприноси мањем аеродинамичком таласном отпору у надзвучном лету.

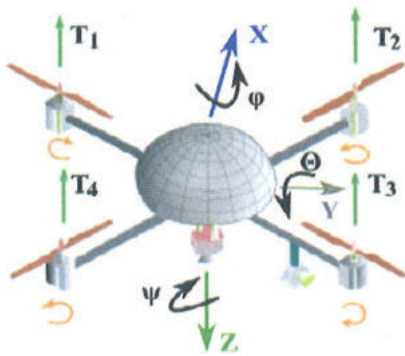
Скривени уисник на месту где се уграђује кабина пилота, спречава да топлотни инфра црвени (топлотни) сензори „не виде” загрејаност делова мотора и структуре око њега, са предње стране кроз уисни канал БПЛ.

Применом композитних материјала за израду структуре летелице који упијају радарске таласе смањена је површина радарског пресека. Осим ефикасне примене композита на бази угљеничних влакана, у последње време се користе ефикаснији нанокompозити. Са њима је структура знатно мање тежине за исту чврстоћу и крутост. F-35 лајтнинг II је први авион чији су многи делови структуре произведени од нанокompозита. Подразумева се да ће та технологија бити примењена и на напредним БПЛ.

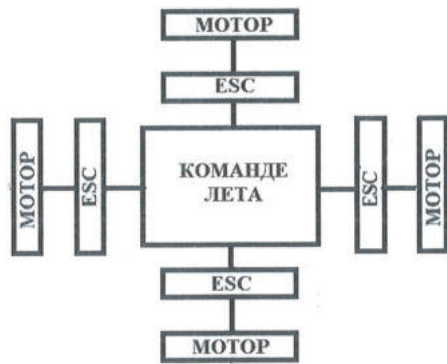
4.7.3. БПЛ са четири ротора (квадратор)

Квадратор је специфична аеродинамичка и конструктивна конфигурација, која се потпуно разликује од пилотираних ваздухоплова. Примењује се традиционално за мале и лаке БПЛ, али у последње време све више и за БПЛ већих габарита. Има велику лепезу могућности примене, у свима областима људске делатности. Флексибилнија је и има разноврсније могућности од класичних конфигурација ваздухоплова. Без обзира на то што овој конфигурацији није могуће обезбедити природну стабилност, то се успешно остварује вештачки, помоћу релативно јефтине уређаја широке потрошње.

Код конфигурације квадратора обезбеђене су могућности кретања напред, назад, десно, лево, горе, доле и временски дуго лебдење, према сигналу који корисник пошаље као своју жељу. Те захтевне радње извршавају се одговарајућом концепцијом команди лета и системом стабилизације, преко програмираних међусобних комбинација режима рада четири мотора са роторима, према посебним софистицираним алгоритмима.



Слика 55. Илустрација принципa концепtиa квадpајтoра

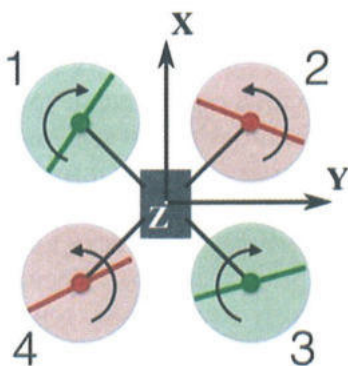


Слика 56. Основна блок шема квадpајтoра

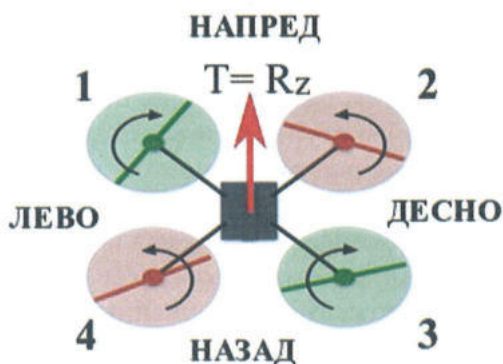
Оквир (специфичан труп) довољно је чврст, тако да остаје не-оштећен у случају судара или неприкладног (грубог) приземљења.

Четири мотора са роторима, симетрично распоређена по ободу оквира тела (трупа), погоне квадpатор, као што је приказано на сликама 55 и 56. На наредним илустрацијама, ротори су приказани као кружне површине, а смер њиховог обртања лучним стрелицама. Мотори обележени бројем један и три обрћу роторе у смеру казаљке на сату (поглед одозго). Мотори два и четири, са роторима, обрћу се супротно смеру казаљке на сату (слике. 57, 58, 60 и 61).

Сваки мотор, у склопу са ротором, производи потисну (узгонску силу), а његовом алгоритамском прерасподелом, појединачни интензитет. Због симетрично супротног смера обртања упарених мотора, у склопу са роторима (2+2), њихов укупни момент, произведен око Z осе се поништава. Ово елиминише потребу увођења допунског решења за поништавање изазваног момента, услед обртања ротора,



Слика 57. Распоред мотора и смерови обртања ротора квадpајтoра



Слика 58. Вертикално кретање квадpајтoра

пренетог на тело летелице. Код класичног хеликоптера тај момент се поништава мањим репним ротором.

Вертикална сила узгона настаје усаглашеним повећањем брзине обртања свих мотора са роторима при индетичном режиму рада. Када укупна узгонска сила надјача гравитационе силе, квадратор се одваја од тла и пење на жељену (командовану) висину.

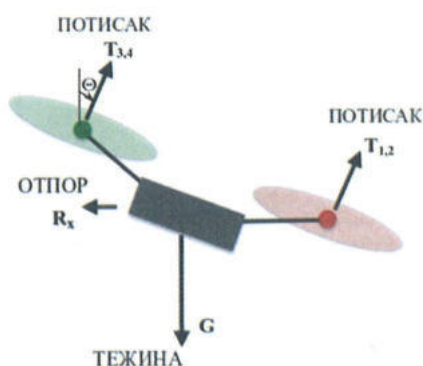
Како довести квадратор у положај приказан на слици 59?

То се постиже повећањем брзине ротације ротора 3 и 4 (задњих, зелених) и смањењем брзине ротације 1 и 2 (предњих, розе). Укупна сила узгона, збир прерасподељених појединачних, изједначава се са тежином летелице, тако да квадратор продужава лет без промене надморске висине

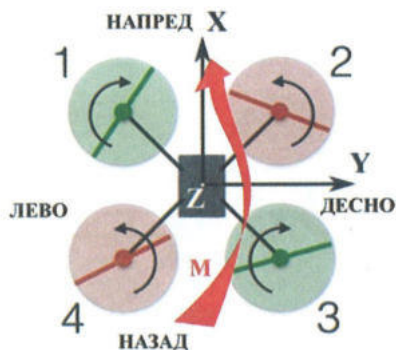
Један од задњих ротора окреће се у смеру казаљке на сату, а други супротно. Појединачно повећани обртни моменти су супротног смера око Z осе, истоветним повећањем ротације оба ротора, и даље ће остати међусобно истоветни и поништавају се. То исто важи и за предње роторе БПЛ. Лет (кретање унапред) се одвија на основу добијене компоненте вучне силе због нагиба ротора унапред, услед веће збирне силе потиска задњих ротора БПЛ од збирних на предњим роторима. На овај начин укупна сила потиска добија компоненту узгона и компоненту вучне силе за кретање БПЛ унапред. При том уздужном нагињању БПЛ лети праволинијски не мењајући правац (не мења се угао скретања ψ), а са непромењеним укупним узгоном и без промене висине.

На свим роторима се појединачно аутоматски подешава потисак тако да укупна вертикална сила узгона остаје једнака тежини БПЛ за командовани услов хоризонталног лета, уз одржање почетног услова изједначених потисака упарених ротора.

У овом режиму лета (слика 59) испуњени су услови:



Слика 59. Илустрација дејства сила на БПЛ



Слика 60. Уздужни моменти (квадрајтор), при нагибу (прогињање/прогињање)

- $\Psi = 0 \rightarrow T_3 = T_4$ и $T_1 = T_2$
- $\Theta = \text{const} \rightarrow (T_{3+} T_4) > (T_{1+} T_2)$
- $G = R_z$
- $R_z = (T_{1+} T_2 + T_{3+} T_4) \cos \Theta$
- $R_x = (T_{1+} T_2 + T_{3+} T_4) \sin \Theta$

Постигнути уздужни момент пропињања/понирања M изазива нагињање квадратора дуж уздужне осе X (око осе Y), за угао Θ . То је назначено црвеном лучном уздужном стрелицом (слика 60).

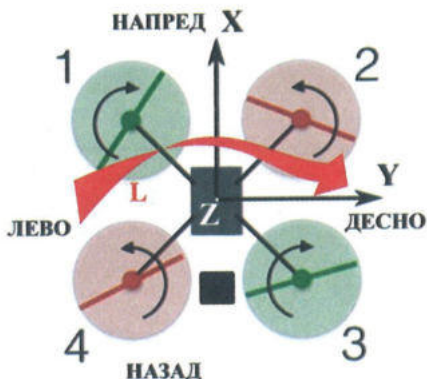
Услов за попречни нагиб квадратора под углом φ (слика 61): $(T_1 + T_4) > (T_2 + T_3)$

Десни се мотори успоравају а леви убрзавају, разлика збирних сила узгона коју стварају ротори на левим моторима (1 и 4) и десним (2 и 3) стварају момент ваљања L . Тај момент узрокује да се квадрататор нагне десно, што је назначено црвеном лучном попречном стрелицом (слика 61). На овај начин се постиже попречно нагињање квадратора око уздужне X осе за угао φ . Укупни узгон за хоризонтални лет БПЛ задржава се исти као и за испуњење услова лебдења: $G = T_1 + T_2 + T_3 + T_4$.

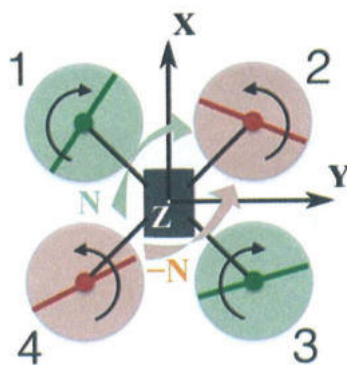
Већина хеликоптера поседује само један главни ротор и тада се изазива обртни момент који се мора поништити. То се код хеликоптера решава малим репним ротором бочно постављеним на довољном краку од тежишта летелице (репни део).

Код квадратора, тај проблем анулирања изазваног момента који делује на тело летелице системски се решава комбинацијом упарених мотора са роторима супротног смера обртања (2+2). Та техника се уједно користи и за управљање квадратором по правцу намерним успостављањем дебаланса тих момената, успостављњем различитих брзина ротације ротора.

Ротори који се брже обрћу изазивају већи момент пренет на тело летелице, што изазива момент N око Z осе, који скреће квадрататор за угао Ψ . Закретање квадратора за угао Ψ , у смеру је обртања упарених



Слика 61. Попречни моменти (ваљање)



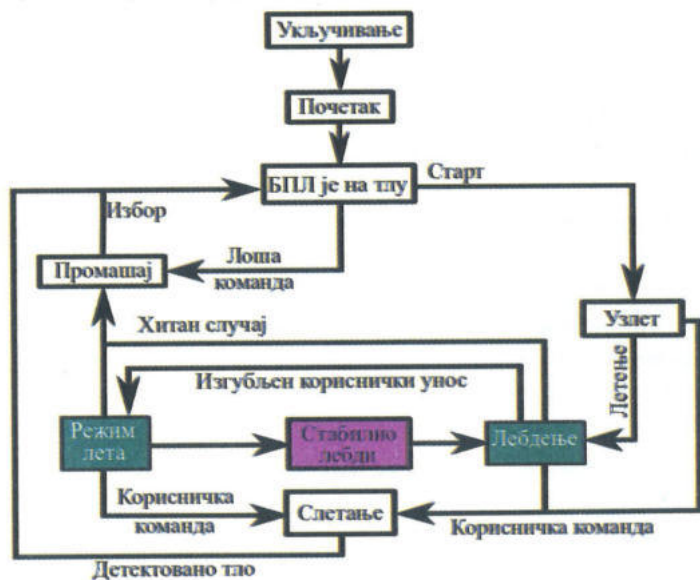
Слика 62. Моменти скрећања

ротора веће брзине. То се постиже повећањем/смањењем броја обртаја два упарена ротора (1 са 3) и адекватним смањењем/повећањем остала два мотора са роторима (2 са 4). Таквом изменом броја обртаја ротора резултује се скретањем квадратора десно/лево (слика 62). На истој слици приказани су моменти N око осе Z . Зеленом бојом обележен је момент изазван роторима 1 и 3, а црвеном момент изазван роторима 2 и 4. Када су ти моменти изједначени, нема скретања; кад се брже обрћу зелени ротори, изазван је већи момент који утиче да квадрататор скреће десно, а када се други пар ротора брже обрћу (2 и 4), квадрататор скреће улево.

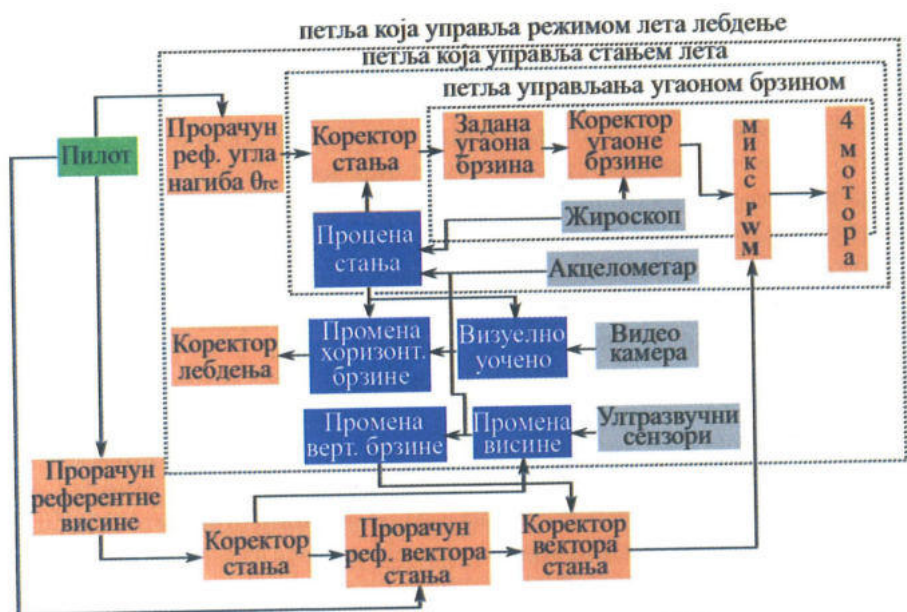
Динамика лепршања крака ротора и очување момента око осовина под углом лепршања може се приближно одредити помоћу Фуријевих редова. Угао лепршања се одређује равнотежом између аеродинамичког и центрифугалног момента и тренутне крутости. Уз то, динамика лепршања може бити разматрана у прихватљивој апроксимацији, поједностављено користећи изразе за њене константне вредности. Затим треба размотрити целину објекта са укупно свим контраобртним роторима (без утицаја тла).

Стабилизација је појачана феноменом нагиба дискова ротора. Ова појава се одвија тако што се током лета унапред, краци предњих ротора више закрећу од задњих.

Архитектура одашиљача за избор различитих облика и фаза лета (лебдење, полетање, слетање, прогресивни лет - слика 63). Према заданим поставкама, тј. кад корисник не додирне екран његовог управачког уређаја, БПЛ прелази у лебдећи режим лета, где се надморска висина одржава константном, нема промене положаја летелице и угаона брзина јој је стабилизована на нулту вредност. Двоструким



Слика 63.
Управљач
ојератора
на земљи



Слика 64. Архитектура фузије података и управљања БПЛ-ом, квадрокоптера

кликом на екран постиже се да летелица прелази у режим за слетање, одређују се задате вредности брзине повећање/смањење и угаона брзина скретања (екран је осетљив на додир).

Управљање се одвија преко затворених петљи путном брзином, висином и угаоном брзином. Петље одређују разлике између заданих и остварених вредности и смањују је до нулте вредности. При поништењу разлике, успостави се режим лета који је корисник захтевао. Угаона брзина се прати пропорционалним интегралним управљањем (енгл. *proportional integral control PI*).

У режиму летења, пилот (оператор) је задао вредност положаја. При лебдењу, задата вредност стања је нулта, али прелазак из летећег режима у лебдење реализује се задавањем стања са нултом брзином, нултом промене висине и задржавањем тог стања беспилотне летелице, што аутоматски одржава и обезбеђује петља управљања у режиму лебдења (слика 64).

Планирање промене режима полази од тренутног стања брзине квадратора, кад пилот напусти режим прогресивног или неког другог тренутног режима лета. Техника генерисања прелазних режима пажљиво је пројектована, тако да је режим нулте брзине и непромењеног положаја временски кратко прекинут (без претераних радњи), а у случају престанка управљања кретањем према напред, пропраћен је инверзијом.

Концентришући се на уздужну брзину и одговарајући угао нагиба θ , израчунава се референтни сигнал $\theta_{ref}(t)$, инверзија динамике

$u' = -g \cdot \theta - C_x u$, где је C_x коефицијент силе аеродинамичког отпора, и филтер другог реда који је резултат идентификације у затвореној петљи.

$$\frac{\theta(s)}{\theta_{ref}(s)} = \frac{K}{\frac{s^2}{\omega_0^2} + \frac{2\xi s}{\omega_0} + 1}$$

Брзина прилаза	Отворен труп	Склопљен труп
$u_0 < 3 \text{ m s}^{-1}$	1,5 s	1,5 s
$3 < u_0 < 6 \text{ m s}^{-1}$	1,0 s	2,2 s
$u_0 > 6 \text{ m s}^{-1}$	1,5 s	2,4 s

Табела 2. Време заустављања за различите преходне (иочетне) брзине

Летелице без узгонских и стабизационих аеродинамичких површина са ротором, свестране су. Способне су за вертикално полетање, слетање, лебдење, летење унутар врло малих висина са извођењем компликованих маневара. Ова својства чине их погодним за низ различитих примена као што су надзор, патрола бродова, претрага и спасавање итд. Са друге стране, њихове нелинеарности и динамичко купловање представљају изазов за пројектанте њихових команди лета и решења за стабилност, што привлачи велико интересовање стручњака. Примењене су многе технике управљања за обезбеђивање аутономног лета ове категорије летелица. Недавно је метод предвиђајућег управљања (енгл. *model predictive control* МРС) препознат као потенцијалан метод у примени код беспилотних летелица са нелинеарном динамиком.

Карактеристика предвиђања МРС-а погодна је стратегија за примену на беспилотним летелицама, посебно у праћењу путање где се може узети у обзир будућа референтна вредност за побољшање перформанси управљања. Суштински, процедура у примени алгоритама МРС је решавање формулисања проблема оптимизације. За нелинеарни систем, МРС техника углавном захтева да се проблем оптимизације нумерички веома често понавља. Временски се често узимају узорци података, што отежава примену у реалном времену због великог оптерећења и умањене пропусности рачунара. Тако изазвана смањена рачунарска пропусност и повећано кашњење отежава испуњење високих захтева за управљање системима са изразито високом динамиком попут летелица са роторима без фиксних узгонских и стабилизационих површина.

Забележено је само неколико примена управљања где је примењен принцип МРС на високом нивоу за решавање проблема праћења са ослонцем на локалне линеарне повратне информације (спреге) регулатора. Решавање формулисаног проблема нелинеарне

оптимизације захтева обавезну примену и допунског секундарног снажнијег рачунара лета.

Аналитичко решавање нелинеарности методом МРС може се пронаћи и у примени последичног регулатора затвореног облика, који се може формулисати без оптимизације интернетом. Предност ове употребе алгорита МРС није само елиминација мрежне оптимизације и продужење ресурса, већ и већа ширина поља управљања, што је веома важно за лет те категорије летелица. Са инжењерског становишта, постоје практична питања о проблематици аутономног летења малих БПЛ те категорије. Зна се да су перформансе управљања засноване на МРС-у веома зависне од квалитетног математичког моделирања. Међутим, високу прецизност моделирања малих летелица те категорије тешко је остварити, посебно због компликоване аеродинамичке природе система ротора. Са друге стране, због мале масе структуре, малих димензија летелице, оне су веома осетљиве на сваки поремећај, нарочито на удар ветра. Одговар им је у домену великих поремећаја, што није једноставно математички моделирати. За разлику од већих летелица, ове су јако осетљиве на измене корисног терета и његовог распореда у простору трупа. Додатни терет и потрошња електричне енергије веома је тангентан проблем за мале БПЛ.

5. Намена

Намена БПЛ је веома широка и све се више шири са повећањем функционалних могућности, што обезбеђује динамичан технолошки развој примењивих технологија. Као и у осталим случајевима, војска највише улаже у технолошки развој и оперативну употребу БПЛ, користећи фаворизоване буџетске могућности за усмеравање на приоритетно постизање одређене предности у односу на друге, у разним наменама и мисијама.

Комерцијализацијом примењених технологија, примена се брзо шири и у многим цивилним делатностима.

5.1. ВОЈНА НАМЕНА

Ефекат војне употребе беспилотних летелица сликовито оцртава португалска ауторка, својим уводним цитатом у чланку *Класификација БПЛ*:

„Замисли себе у сред бојног поља са само једним заиста убедљивим циљем да маневришеш и дејствујеш од једне до друге тачке и да извршаваш своју мисију – са наградом сопственог опстанка. Једно око фокусираш на сталне претње, а друго на оријентацију у простору! Тензија и дубоки страх те грабе, изложен си смртној опасности, а мораш то превазићи и супротставити се. Ово ти је приоритет и шанса за преживљавање! Зар не би радије да, док далеко бесни сукоб, седиш за столом у командној станици мисије, усмераваш БПЛ и безбедно извршаваш свој задатак? Помоћу БПЛ, усмереном антеном, можеш безбедно да учиниш више него што си непосредно могао на бојном пољу, а ниси животно угрожен? “

MARIA DE FÁTIMA BENTO

Беспилотне летелице су се од лаких надзорних уређаја брзо развиле до тешко наоружаних авиона без пилота и тако су постале фаворизовано оружје за вођење измењеног облика ратовања.

Огромна већина од више хиљада војних беспилотних летелица користи се за надзор, а војни експерти предвиђају да ће се то интензивно наставити. Војни аналитичари процењују да ће у наредних 10

Слика 65. Боингов
MQ-25A је прва
беспилотна
летелица за
пуњење авиона
горивом високом
лећу.



година широм света бити купљено више од 80.000 беспилотних летелица за надзор и готово 2.000 наоружаних, борбених примерака. Наоружане беспилотне летелице нису јефтине. Стручњаци тврде да је почетна јединична цена, те технологије око 15 милиона долара, а за додатне потребе и опрему то се знатно увећава. Осим, одржавања, обуке посаде, потребни су и стручни тимови за њихово опслуживање.

Беспилотне летелице су постале део стандардне војне опреме и то је у војскама света изазвало проширење мреже одговарајућих формацијских оперативних јединица, база, станица за испитивање, радионица за оправке, одговарајућу инфраструктуру и системе одржавања.

Студија Центра за стратешке и буџетске процене у Вашингтону, препоручује преформирање формација ваздухопловних пукова САД-а, на састав од само 20 пилотираних борбених авиона и 24 беспилотне летелице, опремљене за електронско ратовање и противракетну одбрану. То је објавио познати часопис Ваздухопловство и свемир (енгл. *Air & Space reported*).



Слика 66. Припрема за пуњење
горивом.

Слика 67. Одвијање процеса
ловца F-35 у лећу, из беспилотној
танкера. прешакања горива у лећу.



Познати амерички ваздухопловни стручњаци и аналитичари озбиљно тврде да се ближи крај млазним пилотираним авионима. Њих убрзано замењују рационалније беспилотне летелице.

Већ су у току преправке авиона-танкера горива Америчке ратне морнарице у беспилотне, а граде се и нови чија је намена да пуне борбене авионе горивом у лету (слике 65, 66 и 67).

На бојним пољима Либије, Украјине, Сирије и Јемена као и у зонама геополитичких сукоба, као што су Перзијски залив и Источно кинеско море, увећане су гужве од распореда и употребе БПЛ различитих величина и нивоа софистицираности.

Било да се БПЛ користе за прикупљање обавештајних података, о нападима противничких ваздухопловних снага, борбу за превласт у ваздушном простору, артиљеријску корекцију ватре или за електронско ратовање, њихова употреба ће значајно изменити карактер ратовања. Интензивно је настављено ширење тренда њихове примене у оружаним, субверзивним и другим радњама, у односу на ранију примену, током агресије и растурања СФРЈ и многих других земаља, као и арапског дела света.

Ратовање беспилотним летелицама је нетипично, нерегуларно, без обавезно препознатљивих супротстављених страна у њему. На то утиче чињеница да је оружје лако приступачно по релативно ниским ценама.

Конвенционални рат укључује узроке, супротстављене државе, појединце војнике учеснике у свакој од супротстављених страна.

Развојем беспилотне технологије, природа рата је много измењена, постала је без преседана сложена из више разлога.

Прво, употреба војних беспилотних летелица доводи у недефинисан статус оператора беспилотних летелица. Да ли су они борци? Они нису изложени двама суштинским факторима у свакодневном учешћу у класичним борбама војника: страху и ризику од смрти. Парадоксално је то што велика изложеност људи као мета драстично расте, а тако и ризик да ће страдати. Услед ових чињеница, брише се и последњи показатељ ратног витештва војника. У конвенционалном рату, борци са обе стране изложени су физичком ризику. У недостатку разлике између умирања и убистава, рат је мање посебан.

Друго, непостојање једностраног физичког ризика прелива се у политичку сферу. У ратној зони попут Либије, када Турска и Катар размештају БПЛ, мање је вероватно да ће то изазвати незадовољство народа у поређењу са распоређивањем борбених ваздухоплова.

Треће, употребом војних беспилотних летелица смањују се нијансе логичне повезаности догађања на бојном пољу. У Либији је учесталост удара беспилотних летелица знатно порасла након злочина у априлу 2019. године, потврђујући негативну корелацију између лакоће манипулације и суздржавања од акције.

Оператори беспилотних летелица, у петљи (распону?) својих надлежности спроводе четвороструке радње: гледају, циљају, одлучују и испаљују. То се дешава у сваком нападу беспилотне летелице, трансформишући бојно поље у акциону игру у којој играч сатима посматра виртуални терен, а затим користи командну палицу (*џојстик*) за пуцање кад се мета појави. Ова петља, у коју су укључени човек и машина, сугерише да се бојно поље деперсонализује.

Како се механизми одговорности замагљују, убиство постаје лакше и могуће са веће удаљености.

Португалка MARIA DE FÁTIMA BENTO у свом ауторском чланку Класификација БПЛ (раније наведени цитат) сигурно није имала у виду ове аспекте природе рата у коме учествују БПЛ.

Студија о војним беспилотним летелицама садржи проблематику у више аспеката. У свету постоје профилисане наоружане групације БПЛ у 101 држави, у седам регија, Азије, Океаније, Евроазије, Европе, Латинске Америке, Блиског истока, северне Африке, Северне Америке и Субсахарске Африке. Тренутно се у свету користи више од 170 типова војних беспилотних летелица.

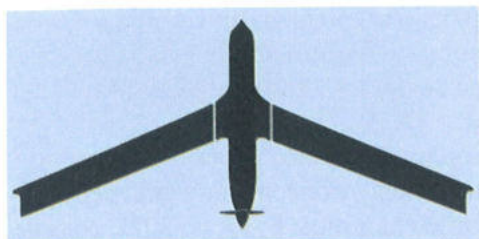
Способности војног беспилотног летења сваке земље процењују се у домену шест области: садржаји инвентара и активних аквизиција, кадрови и програми обуке, инфраструктура, оперативно искуство, програми истраживања и развоја дотичних технологија и извоз.

Беспилотне летелице за војну намену могу се сврстати у три групације (слика 68):

- Војне и комерцијалне беспилотне летелице средње величине које појединцима нису доступне због трошкова или захтевних инфраструктурних потреба. Међутим, ови системи се могу продати или уступити страним војскама и приватним корисницима (слика 69).
- Велике војне, посебно наоружане беспилотне летелице. За њих је неопходна значајнија војна инфраструктура за оперативну употребу. Оне углавном нису доступне за слободну куповину. Користе их само професионални састави војске (слика 70).



Слика 68. Шемајски њриказ њирамидалног односа њримењене њтехнолоњије, масовног њи њроизводње и њримене БПЛ



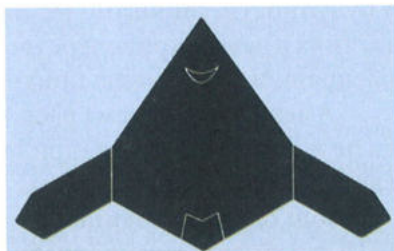
Слика 69. Војне и комерцијалне БПЛ средње величине



Слика 70. Велика војна БПЛ специјалне намене

- Борбене беспилотне летелице смањене уочљивости (стелт) садрже веома софистициране технологије, а осим тога, смањена им је уочљивост при раду њихових система. Те технологије нису доступне произвођачима изван војне и безбедносне контроле. Неколико земаља развијају ове борбене беспилотне летелице. Тренутно, једино их поседују и оперативно користе Сједињене Државе (слика 71).

Интензивно се разматра и испитује ефикасност нове тактике борбене употребе БПЛ. Прилаз се састоји у лету веће групе јефтинијих БПЛ у групацији која је слична роју пчела, а у средишту тог „роја“ је авион пете генерације са максималним напредним наоружањем (као „матича роја“). Противнички системи противваздухопловне одбране нису у стању да издвоје матични авион, као циљ кроз тај „рој“ јефтиних беспилотних летелица и он се олакшано пробија са својим наоружањем до циљног подручја и лако може да реализује планирани задатак своје мисије (слика 72).



Слика 71. Борбена БПЛ смањене уочљивости (стелт)



Слика 72. Многе нације, попут Уједињеног Краљевства, жарко желе да прилагодје ројеве БПЛ за јединствену тактику у борби против ПВО противника (Joey Swafford/Air Force)

У том контексту је министар одбране Велике Британије изјавио: „Ројеви беспилотних летелица вођени авионима F-35 победиће непријатеље својом способношћу да збуне и надвладају непријатељску противваздухопловну одбрану”.

Британци интензивно финансирају развој „роја” беспилотних летелица и планирају да први у свету уведу у оперативну употребу њихову ескадрилу, у склопу са матичним авионом F-35, до 2022. године.

Американци такође тврде да ће Британија прва успети да интегрише „ројеви” беспилотних летелица у војне операције, под условом да њихови званичници наставе да подржавају тај програм.

Очигледно је да се потврђује оно што су војни стручњаци годинама говорили: „Технологија која омогућава синхронизоване „ројеви” беспилотних летелица је перспектива”. Војни лидери почињу да прихватају ту идеју и да је уграђују у своје планове борбених операција.

Петер Сингер (енгл. Peter Singer), старији сарадник Фондације Нова Америка (енгл. *New America Foundation*) који проучава ратовање у будућности, саопштио је: „Та идеја, која је некада била научна фантастика а затим кривоверство, сада је присутна у стручној и научној расправи и све се више прихвата”.

Американци, према расположивим изворима у литератури, тврде да ће и они развити ескадриле „ројева” беспилотних летелица у току свог трогодишњег програма.

Још од 2006. године одвија се програм истраживања и развоја БПЛ за једнократну употребу. То су минијатурне БПЛ које би у великом броју требало да буду распоређене у критичним подручјима. Те летелице су са малим електронским сензорима и оне би могле систему груписања обезбедити војни надзор ризичних подручја без слања пилота - људи изнад непријатељске територије.

Експерименталним програмом се такође истражује начин лансирања малих беспилотних летелица из трупа транспортног авиона С-130, а по извршењу тог дела задатка, њихов повратак у труп истог авиона. На тај начин се поједини транспортни авиони желе ефикасно претворити у летеће носаче БПЛ.

Године 2016, реализован је експеримент аутономних система који је Пентагон назвао једним од најзначајнијих испитивања Министарства одбране. Систем се односи на већи „рој” од 100 микро БПЛ, испуштених из трупова борбених авиона F/A-18 супер хорнет. Тај „рој” је описан као „колективни организам” који дели један расподељени мозак за доношење одлука и међусобно прилагођавање једних другима, као рој пчела у природи.

Најмање један познати произвођач система за одбрану у САД-у улаже у БПЛ које би требало да се користе у борбеним дејствима у сарадњи са авионима.



Слика 73. XQ-222 валкири (ені Valkyrie) и УТАР-22 мако

Компанија из Сан Дијега производи две класе беспилотних летелица, УТАР-22 мако и XQ-222 валкири, за које се тврди да су изграђене управо у ту сврху. Компанија је од одговарајућих институција Пентагона добила средства за наменска истраживања.

Амерички војни стручњаци подвлаче чињеницу да ће за сваку употребу оружја које користи вештачку интелигенцију морати да се пита човек. То значи да ће борбени роботи (БПЛ) моћи сами да одлучују о кретању и бирању циљева, али да ће човек увек одлучивати о „повлачењу окидача”.

Упркос томе, стручњаци који проучавају будућност ратовања кажу да би поједине беспилотне летелице унутар „роја” требало да буду делимично или потпуно аутономне.

Суштина идеје о „роју” није само у великој бројности примерака БПЛ, већ и у чињеници да то мноштво ради координирано, међусобно размењујући информације.

Иако Америчко ратно ваздухопловство има велико искуство са управљањем беспилотним летелицама (предаторима и риперима), употреба „ројева” беспилотних летелица је ново искуство. Код њих треба схватити како један човек може управљати масом робота и да све време има пуну контролу над њима, а уједно и комплетном њиховом мисијом.

То је спорно, званичници нису потпуно сагласни по том питању.

Русија се последњих година озбиљно фокусира на истраживачко-развојне, производне и оперативне активности у оквиру технологија БПЛ, свих категорија. Варијанте БПЛ које Русија планира да уведе у употребу различите се у односу на западне. У њиховим плановима варирају категорије лаких, средњих и БПЛ „чудовишта” тежине и до око 20 тона.

У Москви, на Дан победе, током параде у мају 2018. године, руска војска је приказала своје прве борбене беспилотне летелице које је увела у оперативну употребу. Пре тога су поседовали БПЛ само за извиђачку намен

Руске БПЛ су разноврсне са класичном аеродинамичком шемом и са роторима (без аеродинамичких узгонских површина), квадратори. Наоружане су „паметним” и класичним наоружањем, чак намењеним и за уништавање оклопних борбених средстава на копну и на мору.



Слика 74. Руска -а БПЛ Орион Е

У оквиру тих програма је и БПЛ Алтаир средње категорије. Њен развој је започет 2011. године. Реч је о скупој летећој платформи за ношење и лансирање напредних вођених пројектила ваздух-земља. Заштићена је од модерних и ефикасних противничких система противваздухопловне одбране,

коришћењем напредне технологије за максимално смањење уочљивости (*сћеллиј теxнолоије*).

Намењена је за извиђања и дејство ваздух-земља. Има могућност дугог лета, а маса јој је око 5.000 kg.

Охотник је највећа БПЛ коју развија руски војно-индустријски комплекс, има масу од 20 тона. Конципиран је као систем отворене конфигурације тако да се може даље непрекидно развијати. Тај пројекат ће значајно погурати Русију напред у трци престижа у технологијама беспилотних летелица. Детаљи објављени о том пројекту су штурни, а и оно што је изнето, није поуздано. Прави подаци се још увек чувају у тајности. Први лет је изведен 3. августа 2019. године. Тада је Охотник летео око 20 минута, на надморској висини од 600 метара, изнад државног опитног центра.

У току развоја Охотника користио се ловац пете генерације Су-57 као „авион лабораторија”. На њему су испитани софистицирани системи и најновија технолошка решења.

Планира се да уз садејство тог борбеног авиона пете генерације Су-57, Охотник успешно продире кроз непријатељски ваздушни простор и противваздухопловну одбрану.

Уочљиве су одређене разлике нове тактике борбене употребе БПЛ западних земаља у садејству БПЛ у групацији сличној роју пчела са „матичним” авионом пете генерације F-35 и садејству руског авиона исте генерације Су-57 са БПЛ Охотник. Код „роја” БПЛ са „матичним” авионом F-35 уочљива је тактика продора у ваздушни простор

противника, а код Руса је повећање ефикасности очување превласти у свом ваздушном простору, изнад бојишта.

За разлику у односу на претходно одржане сајмове, „Армија” 2020. године, значајно је било веће присуство руских беспилотних летелица



Слика 75. Руска -а БПЛ Алтиус

различитих категорија. Приказана је комплетна линија беспилотних летелица различитих намена: Хелиос, Сиријус и Гром. Сви ови типови БПЛ, поред своје основне функције имају и борбене способности и завидне карактеристике.

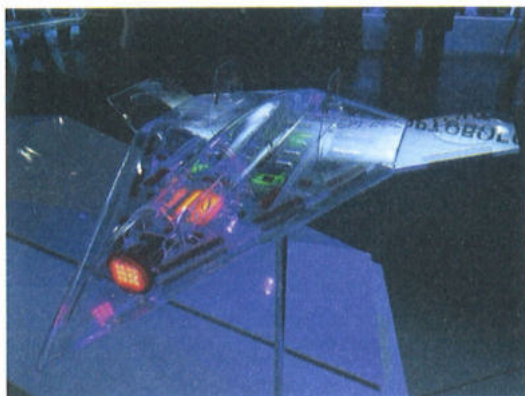
Први пут је приказана БПЛ типа хеликоптер. Нови руски беспилотни хеликоптер има заиста ог-

роман простор за потенцијалну примену. Он може да обавља много шири спектар задатака од стандардних примарних трагачко-спасилачких мисија, за које је иницијално намењен. У његовој даљој еволуцији може се очекивати и извиђачко-борбена верзија наоружана високопрецизним наоружањем и осталим борбеним системима.

Беспилотни хеликоптер има плафон лета од 1.500 метара и аутономију у трајању од два сата. То је вишенаменска летећа платформа. Може се опремити различитим типовима сензора, укључујући мултиспектралну камеру, затим дозиметар гама зрачења, минијатурни радар и магнетометријски систем. За употребу у спасилачким операцијама поседује рефлектор, опрему за емитовање звука и контејнер за транспорт средстава за спасавање.

На сајму је приказана и читава гама система за борбу против непријатељских БПЦ на средњим даљинама (Бастион-аутоматика), затим модернизовани систем за ометање на кратким даљинама (Купол-ПРО) и мобилни аутоматизовани систем за борбу на великим даљинама (Рубеж-аутоматика).

Приказана је и верзија система за борбу против БПЛ Атак. Овај систем БПЛ може самостално, без учешћа оператора да лоцира и идентификује непријатељску беспилотну летелицу по принципу шифрованог препознавања „свој/туђи”, као и да аутоматски електронски онемогући да даље продре у њен



Слика 76. Илустрација садржаја БПЛ Охойника



Слика 77. Први руски беспилотни хеликоптер

ваздушни простор. Време преласка система из дежурства у борбени режим није дуже од пет минута. Систем је у стању да покрива радијус од 1.000 метара и да у тој зони ваздушног простора блокира све канале управљања и укупан распон учестаности радио-таласа које уобичајено користе управљачки пунктови са операторима (од 2-6 GHz). Овај тип летелице се успешно може применити и за операције надзора и транспорта разног терета.

Овим својим карактеристикама, БПЛ Атак се може користити у неутралисању ефикасности тактике коришћења „роја” БПЛ у садејству са „матичним” авионом F -35.

5.2. ЦИВИЛНА НАМЕНА

Појачано је фокусирање на праћење промена временских прилика и обавештавање за безбедносне припреме и превентивну заштиту од њих. Временски услови могу се надгледати и пратити промене параметара температуре, влаге, јачине светлости итд. Ови подаци су корисни за проучавање, анализирање и разумевање временских прилика. За ову намену су квадратори веома практичне летелице.

У процени штете од природних непогода: олује, пожара, поплава, земљотреса и осталог, БПЛ се користе професионално за прикупљање релевантних података извиђањем, преносом слике у реалном времену и снимањем стања. Својом практичношћу и ефикасношћу готово да су у тој улози постале незаменљиве.

Од априла 2010. године, НАСА ради на глобалном истраживању атмосфере уз употребу БПЛ са дугим временским остајањем у ваздушном простору (аутономијом лета). За ову намену БПЛ носе додатне пакете разних сензора који се користе за мерење већег броја параметара за потребе научних истраживања. Беспилотне летелице су у августу и септембру 2010. године сакупиле многобројне информације о ураганима „Ерл” и „Френк”.

Помоћу фотографија које праве БПЛ у ваздуху, прикупљају се корисни подаци за истраживање, анализе и процене, као и за добијање законитости, развоја и интензитета дејства ветро парка.

У марту 2011. године коришћене су америчке БПЛ Глобал хоук блок 30 у операцији процене оштећења нуклеарне електране у Јапану од земљотреса и цунамија.

У децембру 2011. године, еколошко друштво за очување животне средине на мору успоставило је са БПЛ надгледање, контролу и откривање криволова китова у јапанским морима.

Све већу цивилну употребу БПЛ прате и подстичу интензивна истраживања. Осим примене у разним службама, масовно се уводе БПЛ за употребу у полицији, за контролу и преумеравање саобраћаја,



Слика 78. БПЛ са осам ројтора



Слика 79. Комерцијална БПЛ (квадрокоптер, опремљена је камером. производ кинеске фирме DJI

праћење извршилаца разбојништва и других кривичних дела. Парламенати појединих земаља оспоравају њихову примену у полицији због тога што постоји ризик о угрожавању приватности. А постоји и забринутост за заштиту података.

У циљу обуке и едукације становништва у Немачкој, постављена је експериментална организација која окупља хобисте за даљинско беспилотно летење.

У Немачкој, у току је програм развоја БПЛ које ће моћи да детектују појаву пожара у широком рејону надгледања. Планира се надгледање целе територије и обједињавање информација, што ће драстично смањити штете и последице од пожара. Пренос података биће интегрисан и у реалном времену презентираан центрима за ванредне догађаје.

У 2014. години, БПЛ су биле међу најпопуларнијим божићним поклонима. Толико популарни и масовни поклони да су британске власти упозориле њихове рекреативне кориснике да те играчке обавезно користе на законит начин и да прекршиоце очекују огромне казне. Слично томе, америчка FAA је непосредно пред празнике објавила видео, подучавајући амбициозне кориснике беспилотних летелица како да се понашају приликом њиховог коришћења.

Све више и више људи се обучавају за хоби употребу БПЛ, пратећи брз раст броја њихових верзија.

Шири се поље употребе БПЛ у разним делатностима, па и код купаца некретнина јер снимци из ваздуха могу да пруже бољи увид у реалне садржаје понуђене имовине.

Осим тога, стотине, ако не и хиљаде корисника комерцијалних беспилотних летелица чекају да се донесу законски прописи са дефинисаним детаљима о технологијама осећаја за избегавање контакта са препрекама и другим летелицама. Исто тако, чекају се и прописана правила за примену која би дефинисала начине поделе и коришћења ваздушног простора у односу на пилотиране летелице.

Овај тренд брзог развоја комерцијалних БПЛ пажљиво прате и подржавају структуре задужене за војну примену. Широка употреба беспилотних летелица у комерцијалне сврхе оставља наду да ће се повећати свест о важности њихове корисне мирнодопске примене. То може помоћи да их више не повезујемо искључиво са тренутно пренаглашеном наменом за убијање.

У почетку је развој беспилотних летелица био искључиво у оквиру војних програма, а тек недавно на сцени су се почели појављивати и цивилни. Убрзо је то постао веома исплатив комерцијални производ.

На цивилном тржишту БПЛ доминирају кинеске компаније. Њихов произвођач DJI имао је 75% учешћа на светском цивилном тржишту у 2017. години, са прогнозом глобалне продаје у износу од 11 милијарди долара у 2020. Следи француска компанија Парот са 110 милиона долара и америчка компанија 3Д роботик са 21,6 милиона долара у 2014. години.

Од марта 2018. године, више од милион БПЛ (878.000 хоби и 122.000 комерцијалних) регистровано је у америчкој FAA.

Цивилно тржиште БПЛ релативно је ново у поређењу са војним. Компаније се појављују истовремено у развијеним земљама и у земљама у развоју. Многи почетници у раној фази добили су подршку и финансирање од инвеститора попут Сједињених Држава и владиних агенција, као што је случај у Индији.

Неки универзитети нуде програме или дипломске радове за истраживање и обуку. Приватни субјекти такође пружају програме преко интернета и програме обуке за особе како за рекреативно тако и за комерцијално коришћење БПЛ.

Комерцијалне беспилотне летелице такође користи војска широм света, због њихове економичности. Године 2018, израелска војска је почела да користи типове БПЛ Мавиц и Матрице за лаку извиђачку мисију пошто су цивилне беспилотне летелице једноставније за употребу и веће су поузданости. Такође, комерцијалне беспилотне летелице кинеске фирме DJI масовно је користила америчка војска.



Слика 80.
Фототографија
снимљена
беспилотном
летелицом

Глобално тржиште БПЛ убрзо ће достићи промет од 21,47 милијарди америчких долара, док ће индијско тржиште до 2021. године достићи цифру од 885,7 милиона долара.

Осветљене беспилотним летелицама почиње да се користи за ноћна приказивања спортских такмичења и у уметничким и рекламним програмима.

5.3. ХОБИСТИЧКА НАМЕНА

За рекреативне намене често се користе БПЛ модели познатих изведених авиона који визуелно изгледају као оригинал, поседују аутономне летне карактеристике или су и оне симулација оригинала. Поред тих модела авиона, многи хобисти авиомоделари развијају оригинална решења без копирања оригиналних авиона.

Прве хобистичке БПЛ биле су једноставне са радио-управљачким сигналом (RC). Једна од првих таквих изведених приказана је на слици 81.

Хобистичке беспилотне летелице укључују и оне које су лако доступне за куповину, углавном до неколико хиљада долара, од заинтересованих лица за разне приредбе, прославе и журке. Ови системи се из делова и компонената могу саставити унапред или пред саму употребу, и не захтевају званичну инфраструктуру нити обуку за оператера.



Слика 81. Модел авиона њојоњен клијно-елисним њојоном и ујрављан радио-сијналима (RC) ојтворео је еру беспилојној лејшења.

6. Војна оперативна употреба

Оперативну употребу БПЛ (посебно борбену) није могуће потпуно одвојити од укупне ваздухопловне. Логично је коришћење најефикаснијих тактичких здружених поступака при дејству из ваздушног простора, према специфичностима задатака. БПЛ све више потискују пилотиране авионе у ваздухопловним операцијама. Експерти тврде да су авиони пете генерације последњи пилотирани, да долази будућност беспилотних, а у прелазном периоду биће и алтернативних решења.

У овом поглављу приказана је делимично брутална оперативна употреба БПЛ у кризним и ратним условима на просторима локалних ратишта, у делу који је медијски интензивније пропрапраћен и забележен и који је објављен у разним званичним извештајима као изворима.

Делимично изнети преглед крвавог учинка БПЛ у ратовима потврђује претходно наведене констатације о њиховом великом утицају на измену природе ратовања, чинећи га нетипичним, нерегуларним, бруталнијим и без препознатљивих супротстављених страна у њему. Живот и смрт често зависе само од непознатог појединца или уже групе истомишљеника, при чему има и много цивилних жртава, укључујући и децу.

6.1 АГРЕСИЈА НА БИВШУ СРЈ И МИРОВНЕ МИСИЈЕ

Беспилотне летелице као борбено оружје у оквиру формацијских јединица први пут су устројене и размештене широм света скоро одмах после терористичког напада на куле Близнакиње 11. септембра, а званично то је правдано потребом такозваног „рата против тероризма“.

Технологија војних БПЛ је напредовала, па и еволуција технологије беспилотног летења и употребе. Агресија на СРЈ је била развојни полигон за коришћење војних БПЛ. Велико искуство стечено откривањем скривених српских положаја током рата на Косову, у дуготрајној агресији на Савезну Републику Југославију (СРЈ) 1999. године. Тада су први пут извиђачке БПЛ биле размештене у оквиру формацијских јединица по рубу косовског ратишта.

Како је НАТО агресија на СРЈ прерасла у готово непрекидно бомбардовање, лаке беспилотне летелице прелетале су ваздушни простор

(посебно Косова) извиђајући терен, проналазећи и снимајући тешко уочљиве циљеве, посебно јединице Војске Југославије, скривене у бункерима и распоређене по шумама, и снимљене слике директно су прослеђивале својим борбеним авионима који се летели изнад њих.

БПЛ су учествовале у агресији на СРЈ, првенствено у мисијама електронског сегмента ратовања. Посебно у граничном појасу уз Албанију, па чак и на граници са Босном.

Америчка извиђачка јединица опремљена са БПЛ RQ-5A хантер А била је распоређена у Македонији како би обезбедила обавештајне податке о југословенским снагама на Косову. Направили су укупно 246 летова, а због добре југословенске одбране изгубили су пет летелица тог типа.

Да би БПЛ ефикасно деловале, услов је да морају бити стационарне што ближе бојном пољу. То је захтевало размештај у Македонији, са чиме домаћини нису били сагласни. Без обзира на то противљење, Француска, Немачка и Сједињене Државе самовољно су оформиле јединице БПЛ за извиђање на њиховој територији, чиме су прекршиле постојеће мировне споразуме. За летелице RQ-5A хантер, америчка војска је користила Скопски аеродром, а за борбене предаторе користили су Тузлански, у Босни. То је први пут у светској историји ваздухопловства да су самосталне формацијске јединице основане, стационариране и оперативно коришћене на одређеном ратишту.

Током 78 дана НАТО акција у агресији на СРЈ, оборена је најмање двадесет једна БПЛ. Званичници НАТО-а и Пентагона признали су да је само једна БПЛ изгубљена, и то због квара, а остало су прећутали.

Без обзира на огромне техничке могућности електронског и видео-извиђања помоћу БПЛ, српске снаге су успешно заваравале агресоре радарским и радио-мамцима, лажним макетама тенкова, авиона и радара и раштрканим размештајем



Слика 82. Беспилотна летелица RQ-5A хантер



Слика 83. Олујина БПЛ Преграјтор, оборена током агресије, 1999. на СРЈ, изложена је као експонат у Музеју ваздухопловства у Београду.

припадника Војске Југославије по изграђеним склоништима и шумама. Последица тога је да су агресори многа убојна средства употребили на те лажне циљеве, макете.

Немачки извиђачки мобилни систем беспилотних летелица типа CL-289 доказао је своју поузданост током мировних мисија у Босни и на Космету.

Постојале су системске компаније, сачињене од јединица Европске ваздухопловне одбране у које је била и укључена и свемирска компанија (EADS). Француска и Немачка су користиле тај беспилотни извиђачки систем још од 1991-92. године.

У многим мисијама, беспилотне летелице су пружале импресивне слике са извиђања кризних подручја које су такође приказивали медији. Операције су почеле још 1996. године кад је Француска - у оквиру својих задатака IFOR-а - послала једну батерију CL-289 у Мостар. Годину дана касније, ова батерија је замењена немачком. У периоду од три године, све батерије БПЛ (11 француских и 9 немачких) у Босни су летеле у 226 мисија. Док је мисија у Босни још била у току, друга немачка батерија CL-289 пребачена је у Тетово у Македонију, у децембру 1998. године, у оквиру мисије KFOR-а. У кључној фази сукоба ова батерија је током дужег периода извршавала четири извиђачке операције дневно. Од децембра 1998. до краја јула 1999. године, на Косову је чак учествовала у 237 мисија.

6.2 АВГАНИСТАН

Америчко ратно ваздухопловство стационирано је беспилотне летелице MQ-9 рипер и MQ-1 предатор у ваздухопловној бази у Невади. Пилоти су први пут водили борбене мисије у Ираку и Авганистану у летњем периоду и 28. октобра 2007. године. Свој први борбени успех постигао је MQ-9 лансирајући ракету хелфајер против авганистанских побуњеника у планинској области провинције Орузган.

Од јануара 2001. године, Сједињене Америчке Државе су извеле више напада беспилотним летелицама у Авганистану. Ови напади су започели током администрације председника САД-а Барака Обаме. За време Доналда Трампа, процењује се да су се напади беспилотних летелица умножили више пута, у поређењу с периодом мандата претходног председника. Највећи напад беспилотних летелица икада изведен у Авганистану био је 1. јануара 2015. године у округу Спера, провинција Хост. Америчка војска је извршила око 4.130 напада, у којима су усмрћена најмање 3.923 лица (од њих 150 одраслих цивила и тридесет шесторо деце).



Слика 84. БПЛ-ца MQ-9
ријер изнад Авианисијан

Преглед напада америчких БПЛ и жртава у Авганистану, у периоду 2015–2020. године

Датум	Страдали	Коментар
2015.		
1.1.	Страдала једна непозната особа.	Дејство БПЛ САД-а.
3.1.	Двадесет и петоро људи је погинуло.	Убивства су учињена у два одвојена напада, на две одвојене локације.
7.1.	Три лица су погинула.	У источном делу провинције Логар.
8.1.	Шест лица погинуло и троје рањена.	У нападу БПЛ САД-а, у области Чиканавр, провинција Нангархар.
11.1.	Осам лица погинуло и три рањено.	У области Чиканавр, округ Лал Пура, провинција Нангархар.
16.1.	Три лица су погинула.	У округу Назиан, провинција Нангархар.
17.1.	Страдала једна непозната особа.	У округу Лал Пура, провинција Нангархар.
19.1.	Страдала једна непозната особа.	У округу Хогиани, провинција Нангархар.
29.1.	Четири лица убијена.	У округу Назиан, провинција Нангархар.
2016.		
2.1.	Погинуло је пет бивших пакистанских талибанских бораца (ТТР).	Ушли су у савез са ИСИЛ-ом, укључујући и бившег заповедника ТТР-а у племенској агенцији Бајаур у Пакистану, Абу Бакр. Убијени су америчким БПЛ, притом су ранили још два милитанта.
6.1.	Погинуо је непознат број лица.	Извршено је дванаест америчких напада са БПЛ у провинцији Хелманд.
8.1.	Убијена су 23 милитанта ИСИЛ-а.	Напади су извршени у округу Ачин и Кот, који се налазе у провинцији Нангархар.

8.1.	Убијено је 17-20 милитаната ИС-ИЛ-а, укључујући и четири виша заповедника. Међу погинулима је било и цивила.	Напад је извршен БПЛ, у области Пеха која се налази у округу Ачин, у провинцији Нангархар.
8.1.	Погинуо је непознат број лица.	Амерички напад БПЛ, као превентивна заштита, у округу Хархез, који се налази у провинцији Кандахар.
8.1.	Погинуо је непознат број лица.	Нападом америчких БПЛ САД-а, као превентивна заштита, у области Бермал која се налази у провинцији Пактика.
9.1.	Убијено је 20 милитаната ИС-ИЛ-а.	Нападом америчких БПЛ у округу Ачин, који се налази у провинцији Нангархар.
9.1.	Убијено је 15 милитаната ИС-ИЛ-а, при чему су рањене три особе, међу којима и једна жена.	Нападом америчких БПЛ у области Јањал Гондаи, која се налази у кварту Кот, у провинцији Нангархар.
9.1.	Убијено је 10 милитаната, Пакистанаца. Жртве су биле и две малолетне особе (старости 13 и 14 година).	Нападом америчких БПЛ у округу Шегал, провинција Кунар.
2018.		
1.1.	Убијена су најмање 61 милитаната ИСИЛ-а, укључујући и једног цивила. Осим тога, 30 је рањено, укључујући и 14 цивила.	Напад БПЛ је извршен у провинцији Нангархар.
1.1.	Погинуло је двадесет и шест људи, укључујући странце и угледне заповеднике ИСИЛ-а.	Последица је америчког напада из ваздушног простора села Сарадара и Алхани у округу Дарзаб. Међу њима су и познати милитантни командант Кари Зиа ака Шуја и још два истакнута милитанта, јакуба и Шаиха, судија.
1.1.	У нападу БПЛ САД-а погинуло је седам бораца талибана у округу Бати Кот. У другом нападу су погинула два припадника авганистанског огранка ИСИЛ-а у округу Ачин.	
5.1.	У нападу БПЛ САД-а погинуло је 10 милитаната ИСИЛ-а.	Напад је извршен на камп за обуку у Нангархарском округу Хаска Мена.
5.1.	У нападу БПЛ САД-а погинуло је 14 милитаната ИСИЛ-а, укључујући два команданта, у округу Над-е Али у провинцији Лагман.	
6.1.	У нападу БПЛ САД-а убијен је у провинцији Хелманд неименовани кључни талибански вођа задужен за „финансијске договоре и пружање логистике“, за милитанте.	
10.1.	Убијен је двадесет и један милитант (укључујући седам странаца из Пакистана) у америчком нападу у округу Хак е Сафид, који се налази у провинцији Фарах.	

1.4.	Мулах Лал Мохамад, локални талибански вођа у провинцији Кандархар, убијен је током напада у округу Ниш. Тада је рањено и 11 чланова његове групе. Истог дана, у нападу убијен је и непознати број талибанских бораца у округу Над Али.	
2.4.	У нападу је убијено најмање 70 лица, укључујући 21 терористу, од којих је један био талибански командант, а 30 је рањено, током верске церемоније у џамији у Дашт-е-Арчи.	
3.4.	Убијена су четири милитаната ИСИЛ-а.	Током америчког напада беспилотних летелица у Нангархару.
5.4.	Убијени су командант ИСИЛ-а Кари Хикматулах и његов телохранитељ током америчког напада БПЛ у северној провинцији Јовзјан.	
6.4.	Убијено је осам милитаната.	У месту Фаргхамерави у округу Вардој.
2019.		
18.9.	САД, убеђене да нападају скровишта Исламске државе, беспилотним летелицама усмртили су 30 узгајивача пињола у провинцији Нангархар.	
1.12.	У америчком ракетном нападу беспилотном летелицом на аутомобил који је превозио тек порођену жену њено новорођенче убијено је још пет особа.	
2020.		
8.1.	Убијено је и рањено више од 60 цивила у нападу америчких БЛЦ. Циљ је био Мулах Нангиалаи, врховни командант талибанске групе, у провинцији Херат.	

Табела 3

6.3. ПАКИСТАН

До 6. марта 2008. године, Рипером је нападнуто 16 циљева у Авганистану користећи бомбе од 230 kg и ракете хелфајер.

Операција надзора и лоцирања циљева у Пакистану резултирала су ликвидацијом званичника Ал Каиде Ел Јеменија, ракетом са БПЛ у режији СИА. Више од недељу дана трајало је његово праћење. Пратиле су га америчке обавештајне службе, војна лица и два стручњака за борбу против тероризма који су деловали дуж пакистанско-авганистанске границе, изјавили су амерички званичници. Амерички тим се надао да ће их Хаитам ел Јемени довести до вође Ал Каиде Осаме бин Ладена, изјавила су двојица стручњака за борбу против тероризма, обојица бивши високи амерички обавештајни званичници са сазнањима о догађајима поводом тог напада. Али након што су пакистанске власти почетком овог месеца заробиле још једног вођу Ал Каиде, Абу Фарај ел Либија, званичници СИА су постали забринути да ће се Ел Јемени скривати и одлучили су да га ликвидирају док је

још био доступан. Стручњаци за борбу против тероризма су образложили: „Напорно смо радили да видимо шта ће учинити“, изјавио је један од њих, мислећи на Ел-Јеменија. Извори су навели да је беспилотни авион предатор управљан из тајне базе стотинама километара од циља, лоцирао и ракетом ликвидирао Ел-Јеменија у Пакистанском предграђу Мирали у провинцији Северни Вазиристан.

СИА и америчке војне специјалне јединице за операције деловале су тада унутар Пакистана више од две године, уз знање пакистанских власти. Али америчко присуство је прихваћено веома контроверзно од већине муслиманско-пакистанске јавности, која је генерално била наклоњена Бин Ладену и Ал Каиди. Због тога су пакистански званичници рутински обмањивали јавност о америчко-пакистанској сарадњи.

Предатор и друге беспилотне летелице постале су једно од најуспешнијих нових оружја за ликвидације мањих група људи или појединачна у Авганистану и Ираку.

Такође, скоро годину дана су летели граничном зоном Ирана надгледајући и прикупљајући обавештајне податке о њиховом нуклеарном програму и ваздухопловној одбрани. БПЛ су биле лоциране у војним објектима у Ираку. Смрт Ел Јеменија један је од само неколико познатих инцидената у којима је СИА испалила ракету са предатора. СИА је била овлашћена за такве операције председничким решењем проглашеним убрзо након напада 11. септембра 2001. године.

Од 2004. године, Сједињене Америчке Државе нападе су хиљаде циљева на северозападу Пакистана користећи беспилотне летелице којима су управљале њихове ваздухопловне снаге под оперативном контролом Сектора за посебне активности Централне обавештајне агенције (CIA). Већина тих напада су били на циљеве дуж авганистанске границе на северозападу Пакистана. Обамина администрација је први пут признала да су у нападима грешком погинула четири америчка држављанина.

Америчка администрација и пакистанске власти јавно су тврдили да је минимална вероватноћа да цивили страдају од напада. Поједини војни документи откривају да већина убијених људи није била циљна мета, при чему је отприлике само 13% била циљна мета. Значи, од свих усмрћених, 87% нису били циљна мета - 81% су били други милитанти, а 6% цивили. Процене о смрти цивила крећу се од 158 до 965 лица, на основу чега су одређени медији тврдили је да је велики број жртава ненаоружан и да неки напади представљају ратне злочине.

У децембру 2013. године, Национална скупштина Пакистана једногласно је усвојила резолуцију против америчких беспилотних дејстава на њиховој територији називајући их кршењем „Повеље Уједињених нација, међународних закона и хуманитарних норми“.

Обамина администрација се није сложила са тиме, тврдећи да напади нису кршили међународно право и да је метод напада био прецизан и ефикасан.

Значајне мете удара били су Фазлулах, вођа пакистанских талибана (убијен у нападу 14. јуна 2018. године, на авганистанско-пакистанској граници), Баитулах Мехсуд, бивши вођа пакистанских талибана (убијен у нападу у Јужном Вазиристану 5. августа 2009. године), Хакимулах Мехсуд, Мехсудов наследник (убијен у нападу 1. новембра 2013.), Хафиз Саид Кан, вођа (емир) ИСИС-К (убијен у нападу на граници округа Ачин) и Актар Мансур, вођа авганистанских талибана (убијен у нападу 21. маја 2016. у Ахмад Валу, Пакистан).

Преглед напада америчких БПЛ у Пакистану (до 1. 01. 2018.)

Године	Напади	Жртве			
		Војне	Цивилне	Непознате	Укупно
2004.	1	3	2	2	7
2005.	3	5	6	4	15
2006.	2	1	93	0	94
2007.	4	51	0	12	63
2008.	36	223	28	47	298
2009.	54	387	70	92	549
2010.	122	788	16	45	849
2011.	70	415	62	35	512
2012.	48	268	5	33	306
2013.	26	145	4	4	153
2014.	22	145	0	0	145
2015.	10	57	0	0	57
2016.	3	9	0	0	9
2017.	8	36	2	1	39
Укупно	409	2.533	388	275	3.096

Табела 4

Операције у Пакистану уско су повезане са сродном кампањом беспилотних летелица у Авганистану, дуж истог граничног подручја. У тим нападима је погинуло 3.798–5.059 милитаната и 161–473 цивила. Међу убијеним милитантима су стотине високих вођа авганистанских и пакистанских талибана, Исламске државе, Ал Каиде, мреже Хакани

и других организација, при чему је 70 талибанских вођа убијено у десетодневном периоду маја 2017. године.

6.4 СИРИЈА И ИРАК

Америчко ратно ваздухопловство је започело са мисијама беспилотним летелицама рипер у Ираку из ваздухопловне базе Балад, 17. јула 2008. године. Укупни ваздухопловни састав у Ираку тада је био опремљен беспилотним летелицама Рипер. До марта 2009. године, ваздухопловство је укупно поседовало 28 примерака оперативних Рипера.

У Сирији и Ираку тренутно има много БПЛ произведених у више земаља и од више група него што је било коришћеног оружја у претходним ратовима.

Технолошки напредне оружане снаге, као што су америчке, нису искључиво ексклузивно једине које користе то оружје. Беспилотне летелице усвајају и мање технолошки напредне војске, полицијске снаге, приватни корисници. Повећањем учешћа и ових бројних група, и прилагођавањем расположивим технологијама повећава се број и разноврсност операција БПЛ.

Посебно масован случај те праксе је у Сирији и у Ираку. На основу анализе виђеног, откривено је да су најмање 32 различита типа БПЛ које су укључене у борбеним конфликтима на тим просторима, произведене у шест држава. Од ова 32 типа система БПЛ, 10 је произведено у САД-у, девет у Кини, шест у Ирану, четири у Русији, две у Израелу и један у Турској. Већина су мале БПЛ тактичке намене за надзор. Од тога, осам типова су рекреативног хоби стандарда. Мањи број примерака, од присутних, су неидентификоване, а у том арсеналу препознате су борбена иранска Шахед-129 и кинеска СН-4 ранбо. То су два убојита еквивалента америчке БПЛ MQ-9 рипер којима су извршени први познати напади у Ираку и Сирији 2015. и 2016. године.



Слика 85. Ирански Шахед-129



Слика 86. Кинески CH-4 ренбоу



Слика 87. БПЛ и сателитски комуникациони уређаји, оtkривени у кући у Дамаску у Сирији

Беспилотне летелице које се користе за спорт и рекреацију показале су се веома ефикасним у широко распрострањеном надзору из ваздушног простора, где служе као одговарајуће летеће платформе за ношење наменске опреме за пренос података. Осим намене надзора, хоби БПЛ су коришћене и као носачи експлозива на изабране појединачне циљеве. Овакве БПЛ се првенствено производе у Турској и дејствују као „самоубице“.

6.5 СОМАЛИЈА

Од 2007. године, војска САД-а нападала је у Сомалији милитантне групе из ваздушног простора, углавном Ал Шабаб, ракетајући их са БПЛ и са бродова. До марта 2017. године, напади из ваздушног простора драматично су интензивирани под Трамповом администрацијом.



Слика 88. MQ-9 рийер у Сомалији

**Преглед напада америчких беспилотних летелица
и жртава у Сомалији**

Датум	Страдали	Коментар
2007.		
7.1.		Осумњичени конвој Ал Каиде нападнут је и том приликом убијено је више сумљивих бораца, укључујући Фазул Абдулах Мохамеда и суданског стручњака за експлозиве Абу Талха ел Суданија, познатог као Тарик Абдулах. Конвој је ноћу пратила БПЛ Предатор. Процењује се да је 5–10 милитаната убијено, а 4–5 рањено. Заједнички америчко-етиопски тим одмах је слетео на место напада, после чега је потврђено најмање осам убијених. Према изјави америчког Министарства одбране, милитанти убијени у овом нападу повезани су са бомбашким нападима на америчке амбасаде у Кенији и Танзанији 1998. годин
9.1.		Четири града у близини Рас Камбонија била су на мети напада. Реч је о камповима за обуку Ал Каиде. Наводно је у њима убијено 4–31 особа. Сматра се да је планирани циљ био Фазул Абдулах Мохамед. Извршен је још један напад у близини Афмадова, у којем су убијене 22 особе, према неким подацима, чак 31 особа.
2011.		
3-6.3.		Током борби у Доблеију између сомалијских снага и милитаната Ал Шабаба, изведен је напад из ваздушног простора, у којем је убијен заповедник Ал Каиде Јабрел Малик Мухамед. То је уследило након осамнаест месеци дуге паузе у америчким нападима у том подручју.
23.6.		Први напад беспилотних летелица са смртоносним последицама у Сомалији, америчке снаге извршиле су на камп за обуку, јужно од Кисмаија, кад је наводно погинуо високи вођа Ал Шабаба, Ибрахим ел Афханија. Међутим, Стратфор је у августу известио да је Афханија још жив и да је заменио Ахмеда Абдија Годанеа као емира Ал Шабаба.
6.7.		Рано ујутро, америчке БПЛ напале су три тренинг-кампа Ал Шабаб у Афмадову.
25.9.		Серија напада беспилотних летелица извођена је гађајући милитанта ал-Шабаб у Кисмаију.
6.10.		Нападима беспилотних летелица гађани су милитанти Ал-Шабаб који су се повлачили у село Долбиов. У нападу су погинула четири сомалијска пољопривредника.
13.10.		Напад БПЛ на базу Ал Шабаб у близини села Табта.
22.10.		Амерички беспилотни авион напао је Афмадов.
23.10.		Здружени амерички и француски напади из ваздушног простора на Кисмаио.
2012.		
21.1.		Три ракете испале су са БПЛ, на ауто британско-либанског милитанта Билала Ал Берјавија познатог као Абу Хафса испред Могадиша и усмртиле су га.
24.2.		Амерички беспилотни напад, са циљем да уништи возило са високим заповедником, усмртио је седморицу милитаната у Доњој Шабеле, укључујући истакнутог Мароканца и заменика Билах ел-Берјавија.
23.9.		Амерички беспилотни напади извршени су на град Кандала.

2013.		
28.10.	Убијена двојица исламиста у нападу беспилотних летелица, укључујући високог вођу Ал Шабаба Ибрахима Али Абдија.	
2014.		
1.9.	Америчке БПЛ и пилотирани борбени авиони напали су претпостављени циљ Ал Шабаб, више логора и возила. Вођа Ахмед Абди Годане је убијен у тим нападима.	
29.12.	У нападу америчких БПЛ-ца убијен је високи вођа ал Шабаба познат као Абдисхакур, шеф обавештајне групе.	
2015.		
31.1.	Убијено је 45-60 припадника Ал Шабаба у америчкоум нападу беспилотних летелица, у Доњем Шабелинакон. Америка негира своје учешће у том нападу. То је најсмртоноснији амерички напад у Сомалији против радикалних исламиста. У другом нападу, убијени су током вожње у возилу виши вођа Ал Шабаба Јусеф Дек и његов пратилац.	
10.3.	Америчке беспилотне летелице напале су два кампа за тренинг Ал Шабаб.	
12.3.	У нападу БПЛ, уништена су два возила Ал Шабаба и убијен је осумњичени за напад у тржном центру у Кенији, Адан Гарар.	
15-18.	Напад БПЛ на Бардере.	
22.11.	Амерички напад на Ал Шабаб, у јужној Сомалији.	
2.12.	Старији борац Ал-Шабаба Абдирахман Сандере убијен је у нападу БПЛ.	
22.12.	Вођа Ал-Шабаба Абу Убаида убијен је при нападу БПЛ.	
2016.		
5.3.	Масовни амерички напад из ваздушног простора, у коме је учествовало више беспилотних летелица дејствовао је по кампу за обуку у близини града Расоа у централној Сомалији, у коме је погинуло око 150 милитаната Ал-Шабаба.	
31.3.	Америчке беспилотне летелице погодиле су три возила Ал-Шабаба у јужној Сомалији.	
1.4.	Амерички напади из ваздушног простора против милитаната Ал-Шабаба.	
2.4.	Шест особа убијено.	Два америчка напада из ваздушног простора у јужној Сомалији.
6.4.	Убијено осморо људи.	Амерички напад беспилотних летелица у Јилибу.
11.4.	Усмрћено 12 милитаната.	Амерички напад беспилотном летелицом извршен на камп Ал-Шабаба у јужној Сомалији.
12.5.	Убијено пет припадника Ал-Шабаба.	Амерички напад из ваздушног простора.
27.5.	Вођа Ал Шабаба Абдулахи Хаји Дауд убијен у нападу беспилотних летелица.	
21.6.	Три члана Ал-Шабаба убијена у удару БПЛ.	
30.8.	Два милитанта убијена у нападу БПЛ, близу Гобанале.	
5.9.	Четири милитаната убијена су у близини града Торторов.	

2017.	
31.8.	Напади беспилотних летелица у близини Баравеа, убијен је припадник Ал-Шабаба и једна особа је рањена.
5.9.	Прецизним нападом беспилотном летелицом убијена су тројица милитаната Ал-Шабаба, у централној Сомалији.
7.9.	Прецизним нападом беспилотном летелицом убијен је један милитант Ал-Шабаба.
13.9.	Са три прецизна напада беспилотном летелицом убијено је шест милитаната Ал-Шабаба.

Табела 5

6.6. ЛИБИЈА

Према неколико релевантних извора, у Либији је за седам година извршено 550 напада БПЛ САД-а. Командант ескадриле ратног ваздухопловства у пензији изјавио је да је његова јединица извела 241 напад беспилотним летелицама из америчке базе на Сицилији 2011. године, у почетку ваздушне кампање у Либији. Други заповедник ратног ваздухопловства изјавио је да су беспилотне летелице извеле отприлике 300 напада у другој половини 2016. године, кад су САД напале либијски град Сирте ради рушења Исламске државе. Трећи податак је да је ваздухопловство у 2017. години приказало приближно исте бројеве. У четвртном и петом извору, званичници Пентагона су потврдили да је у Либији извршено 11 напада за време Трампове администрације, у којима су учествовале БПЛ.



Слика 89. БПЛ-це УАЕ-а извршиле напад на Триполи

Више од 550 напада беспилотних летелица у Либији од 2011. године, премашује број напада из ваздушног простора од 2001. године у Сомалији, Јемenu или Пакистану. Између 2001. и 2011. године, Сједињене Државе су изградиле своје беспилотне снаге и развиле систем њиховог учешћа у борбама. Од тада, Либија је служила као лабораторија за нову тактику и доказивање да су БПЛ приоритетно оружје будућности.

Америчко ангажавање у Либији почело је 2011. године, када су такозвани устаници Арапског пролећа „протутњали” по Блиском истоку, од Туниса до Бахреина. БПЛ МК-1 предатор почеле су деловати из морнаричке ваздухопловне базе у Италији, 25. марта 2011. године. Касније, америчка војска је убрзо потврдила да су почели напади беспилотним летелицама на Либију. Циљ напада им је био слом војске Гадафијевог режима, у близини града Мисрата.

Следећих шест месеци, америчке беспилотне летелице, стационарне у италијанској ваздухопловној бази, летеле су у ваздушном простору изнад северне Африке, спроводећи кампању формулисану: „Предатори су у току шест месеци лансирани 243 ракете правећи пакао”. На Либију је укупно лансиран скоро исти број ракета као на остала ратишта у свету, укључујући ратне зоне Авганистана и Ирака.

Након Гадафијевог свргавања и смрти, 20. октобра 2011. године, у Либији је настао хаос и напетост подстакнута полицијским снагама, што је омогућило терористичким групама да процветају и такозваној Исламској држави да преузме медитерански обалски град Сирт.

Почетком 2013. године, италијанска влада је дала дозволу за распоређивање додатне америчке ратне опреме у бази Сигонела, укључујући беспилотне летелице предатор и рипер.

Употреба БПЛ у граду Сирт била је интензивнија него у Ираку и Сирији током упоредивог периода, то је био бројчано значајнији ресурс концентрисан на мањем простору. Сирт је постао полигон за испитивање нових концепција градске борбе са учешћем БПЛ у синхронизацији са локалним паравојним снагама и америчким специјалцима.

Према статистици, око 70 процената напада извршено је беспилотним летелицама Рипер, и то првенствено у задацима блиске подршке локалних снага које су биле укључене у уличне борбе. БПЛ су често деловале удвојено, понекад са хеликоптерима и авионима. Коришћена је способност Рипера да може дуго да крстари, да пронађе, фиксира, прати и са великом прецизношћу да гађа циљ. Сходно томе, за кратко време целог процеса, значајно се доприноси планираном уништењу циља. Процењује се да је на тај начин убијено 800 до 900 ИСИС-ових бораца.

6.7. ЈЕМЕН

Преглед напада америчких БПЛ и жртава у Јемену

Датум	Страдали	Коментар
5.11. 2002.	Оперативци Ал Каиде	СИА је са беспилотном летелицом Предратор лансирала ракету на аутомобил.
Мај 2010.	Убијено је пет припадника Ал Каиде у Вади Абиди.	У нападу БПЛ међу убијенима је и Џабер ал Шабани, заменик гувернера, који је био веза између владе и милитаната.
2011.		
5.5.	Ракетом испаљеном са БПЛ убијени су милитанти, два брата Мубарак.	Ракета је погодила њихов аутомобил, као приоритетан циљ је био вођа Ал Каиде Анвар ел Авлакија, који је преживео овај напад.
3.6.	Бспилотном летелицом САДА убијени су Али Абдулаха, Наји ел Харитхија и још неколико милитаната, међу њима и Амар Абадах Насер ел Ваелија.	Ову акцију је извела СИА из старе базе, док је нова била у току градње са наменом коришћена за летење над Јеменом.
14.7.	БПЛ су нападе и уништиле полицијску станицу у Муџи. Страдало је између 6 и 50 људи.	Истог дана, у непосредној близини, лансирана ракета са БПЛ погодила је аутомобил са јеменским вођом Ал Каиде Фахд ел Кусом, али је он преживио тај напад.
1.8.	БПЛ су бомбама и ракетама нападе три циља; 15 осумњичених милитаната Ал Каиде су ликвидирали а 17 ранили.	Циљано је више локација. Један од убијених је наводно вођа милитаната Насер ел Шадади.
24.8.	Убијено је 30 милитаната а рањено 40.	Неидентификована летелица је нападе осумњичене милитанте Ал Каиде у близини Зињибара.
30.8.	У нападима из ваздушног простора убијено је 30 милитаната.	Није наведено какве летелице су учествовале у нападу.

Слика 90. Вођа Хуџи-ја Салех Алсмаг приказује је БПЛ Касеф-1 као власитији развој, 26. фебруара 2017. године, у Јемену.



21.9.	Погинула су чеири борца у Абиану и седам у Шакри	Нису наведене ни врсте ни типови летелица коришћени у та два напада.
30.9.	Убијене су четири особе, међу њима активиста Ал Каиде Анвар ел Авлаки и Самир Кан, амерички новинар-уредник.	Ракетема са БПЛ САД-а извршен је напад. Ово је први пут да су САД намерно гађале америчке грађане у нападу беспилотним летелицама
5.10.	Беспилотним летелицама у милитантном скровишту, источно од Зињибара ликвидирано је пет милитаната АКАП.	Зињибар је главни град области Абиан. Према званичницима Владе Јемена, у америчком нападу из ваздушног простора.
14.10.	Убијено је седам милитаната АКАП-а, укључујући и египатског шефа АКАП-а за медије Ибрахима ел Бана. Такође, убијени су и син Ал Авлакија, Абделрахман ел Авлакија, и осморица других милитаната.	Ова убиства су извршена у одвојеним нападима БПЛ.
22.12.	Убијен је Абдурахман ел Вухаишија, рођак јеменског вође Ал Каиде Насера ел Вухаишија. Пријављено је још осам убистава милитаната.	Ови напади су изведени одвојено, у различито време и на различитим локацијама.
2012.		
11.03.	Извори тврде да су САД у мају 2012. године увеле у оперативну употребу прве беспилотне летелице против АКАП-а у области Хадрамаут. Од средине маја до краја године, САД су извеле седам напада у овој области, од укупно 41 у целом Јемену, 2012. године. БПЛ су извеле три напада од 9. до 11. марта 2012. Први напад је био на скровиште АКАП-а у близини Ал Баидаха, провинција Баидах. Тада је наводно убијен локални вођа АКАП-а Абдулвахаб ел Хомаикани и 16 његових милитаната. У другом нападу је убијено 20 бораца АКАП-а. У трећем нападу убијена су три милитанта АКАП-а и гађано је складиште оружја. Четврти напад је извршен 14. марта 2012. године на возило у коме су страдала четири милитанта АКАП-а.	
11.04.	Убијено је 14 милитаната. Такође је убијен и високи вођа АКАП-а Мохамед Саид ел Умда (познат и као Цароб ел Таизи).	Ова два напада беспилотним летелицама извршена су одвојено. Први 11. априла, у граду Лавдар, североисточно од Зињибара. Други – 22. априла, у области Ал Самада.
6.06.	Америчком БПЛ убијени су Фахда Мохамед Ахмед ел Кусоа и још један милитант, припадник Ал Каиде.	Напад се десио у јужној гувернији Шабвах.
Јул 2013	Убијено је 15 људи у свадбеној колони, која је грешком лоцирана као да су милитантни.	Откривена је завера Ал Каиде (која потичу из Јемена), због чега су САД предузеле мере затварања амбасада и дипломатских објеката широм Африке, Блиског истока и Азије. Као одговор, САД су извршиле 9 удара у Јемену, грешком, на свадбену колону.

8.01. 2014.	Два борца АКАП-а убијена су у нападу БПЛ, у области Ал Кутн, приликом вожње у аутомобилу. У марту исте године беспилотним летелицама су убијене три особе за које се сумња да су били припадници АКАП-а. Сматра се да је у нападу убијен Муџахид Габер Салех ел Шабани, један од 25 најтраженијих оперативаца АКАП-а у Јемену. Током априла, у три напада убијено је више десетина чланова АКАП-а и уништен је један камп за обуку. У нападу на једну колону аутобила усмрћено је још пет особа.	
2015.	После затварања америчке амбасаве у Сани, амерички званичници за борбу против тероризма најавили су да је СИА била приморана да смањи своје операције у Јемену. Од око 200 Американаца са седиштем у амбасади, многи су радили за СИА.	
2016.	САД су потврдиле 32 напада БПЛ у Јемену током 2016. године, што је резултирало са 88 до 123 убиства. Додатних 10 или 11 пријављених напада није потврђено, а забележена су 23 смртна случаја. Извршен је удар близу главног града и усмрћено је 40–50 бораца. Истог месеца је убијено и 8 бораца АКАП-а у јужном гувернорату Абнан. Саопштено је да је у нападу на гувернорат Мариб убијено пет бораца АКАП-а.	
2017.	У два напада америчких БПЛ, 21. јануара убијен је теренски заповедник Абу Анис ел Аби и још двојица оперативаца Ал Каиде. Америчке БПЛ и борбени авиони извршили су више од 30 напада на сумњиве положаје Ал Каиде у три јеменске провинције, 2. октобра 2017. године. Претходног дана је једна БПЛ МК-9 оборена ракетом земља-ваздух у западном Јемену.	
2018.	Убијен је вођа Хутија Салех Али ел Самад. Такође је убијено седам милитаната Ал Каиде.	Прво убиство је учињено 23. априла са БПЛ Уједињених Арапских Емирата, а друго 6. јула, беспилотном летелицом САД-а.
2019.	<ul style="list-style-type: none"> - Сарадник Ал Каиде и бомбаш Јамал ел Бадави убијен је у прецизном америчком нападу. - Беспилотном летелицом је убијено неколико војника Јемена. - У три напада БПЛ убијена су најмање петорица милитаната. 	

Табела 6

Британска статистика прати и даје одређену представу о нападима беспилотних летелица, што је у претходним табелама добрим делом и приказано.

6.8. ПОЈЕДИНАЧНЕ ЛИКВИДАЦИЈЕ

Беспилотне летелице Предатор су из ваздушног простора открили и пратили кретање Осама бин Ладена, вођу Ал Каиде, одмах после терористичког напада на куле Близнакиње у Њујорку, 11. септембра 2001. године. Међутим, у првом нападу, у октобру 2001. године, пропуштена је шанса за ликвидацију зацртаног циља. Уместо главног циља, убијени су неки од Бин Ладенових телохранитеља у возилу у коме тада није био вођа. Али овај неуспех није одвратио САД. Беспилотне летелице

предатор и рипер од тада су размештани у Авганистану и у северним, племенским областима Пакистана, у различитим фазама „рата против тероризма“, као и у Ираку, Сомалији, Јемену, Либији и Сирији.

Председник САД-а Буш је у свом мандату одобрио „председнички указ“ који омогућава СИА да формира сет правила и начини списак висококлафикованих лица која имају право личног одлучивања о ликвидацији појединаца за које се сматра да су опасни терористи. Тај списак су сачињавали поједини припадници СИА. Оваква убиства дефинисана су као самоодбрана у глобалном рату против терориста Ал Каиде. Тај документ су писали правници Беле куће, СИА и Стејт департмента. Одредба је омогућавала званичницима СИА да у борби против тероризма на терену брже одлучују кога ће и када ликвидирати.

Основно средство које се користило у овим мисијама су БПЛ предатор које су Службу директно (у реалном времену) снабдевале обавештајним подацима, обављале надзор и извиђање. Али истовремено, предатор се показао и као врло успешно оружје за ликвидацију одређених појединаца и група.

Према раније пријављеним документима Пентагона, у наредних пет година ваздухопловство планира да обезбеди 24 предатора и 35 предатора Б, наоружаних са чак 3.000 килограма прецизно вођених бомби, ракета и сензора за лоцирање и дејство по циљевима у покрету на земљи. Роџер Креси, бивши званичник контратероризма у Клинтонској администрацији, изјавио је: „Неки од највећих успеха против Ал Каиде били су изведени употребом предатора, како у погледу препознавања циљева тако и стварног дејства по њима“.

У овом поглављу је наведено само неколико примера тих ликвидација, изабраних по критеријуму већег фокусирања медија у свом извештавању.

АБУ АЛИ ЕЛ ХАРИТИ

У новембру 2002. СИА је употребила БПЛ предатор опремљену ракетом AGM-114 хелфајер - тада је убијен високи вођу Ал Каиде Абу Али ел Харити док се возио аутомобилом по јеменској пустињи. За њега се сумњало да је организовао напад на куле Близнакиње у Њујорку. Био је натурализован амерички држављанин Камал Дервиш. Касније је утврђено да је Дервиш био терориста обучаван у камповима Ал Каиде.

ЕЛ ЈЕМЕН

Извори су објавили да је у овој мисији коришћена БПЛ Предатор, управљана из тајне базе стотинама километара од циља. Лоциран је Ел Јемена, један од вођа Ал Каиде. На његов аутомобил је 7. маја 2005. године лансирана ракета AGM-114 хелфајер. Саопштено је да је

аутомобил уништен, а једна од жртава је осакаћена до нераспознавања. Друга жртва је идентификована као Самиулах Кан.

ЦИХАД ЦОН

Према информацијама од 13. новембра 2015. године, у пределу упуришта Исламске државе у близини Раке у Сирији, ликвидиран је Мохамед Емвази (27), британски држављанин познат као Цихади Цон, лансираном ракетом хелфајер са БПЛ МК-9 рипер. Емвази је био познати извршилац ликвидација заробљеника из коалиције бораца са Запада.

КАСЕМ СУЛЕЈМАНИ

Највиши ирански командант безбедности и обавештајних служби убијен је рано ујутро у петак 3.1.2020. године у нападу беспилотном летелицом MQ-9 рипер, на Међународном аеродрому у Багдаду. Према изјави америчких званичника, напад је лично одобрио председник САД-а Доналд Трамп. Командант, генерал Касем Сулејмани водио је моћни Исламски револуционарни гардијски корпус. Убијен је лансираном ракетом AGM-114 хелфајер, заједно са неколико званичника ирачке полиције, у конвоју аутомобила који је управо напуштао Багдадски аеродром.

Овај догађај још једном убедљиво потврђује опасност од непостојања било какве глобалне контроле (зло)употребе технологије беспилотних летелица.

7. Глобални проблем контроле (зло)употребе БПЛ

Живимо у времену све веће zasiћености арсеналом беспилотних летелица. Последњих година порастао је број БПЛ широм света, у војсци и у цивилној употреби, а многобројне су и злоупотребе.

Карактеристичан је случај злоупотребе мини БПЛ од извесног Албанца Морине, на међународној квалификационој фудбалској утакмици између Србије и Албаније (слика 91). Утакмица је прекинута, а оштећени су љубитељи фудбала и нанета је велика љага на регуларност тог традиционалног међународног спортског такмичења. То је свакако миноран пример, у односу на злоупотребе терористичких група и појединих држава у убијању великог броја људи, посебно цивила, а међу њима и великог броја деце.

Данас преко 100 нација користи беспилотне летелице, а притом треба истаћи да их око 30 земаља развијају и производе. Како се ова технологија брзо шири, посебно једноставних наоружаних беспилотних летелица са експлозивом, хемијским и биолошким средствима, биће их практично све више надхват руке свим државама и појединцима. Ако се масовно користе, ови системи би могли потенцијално утицати да државе, поједине групације и појединци постану неконтролисано опасни по безбедност и мир у свету. Доказ је рат који се данас води између Азербејдана и Јермније, изузетно специфичан због масовне упоребе БПЛ са једнократном употребом – „самоубица“.

Постоји потенцијално и објективно нешто застрашујуће при помисли на смрт од летеће машине, робота без савести, што ускоро



Слика 91. Пример злоупотребе, провокација леица БПЛ са майом „Велике Албаније” на стадиону у Београду, за време квалификационе утакмице Србија–Албанија.

Слика 92.
БПЛ Скиборџ



слиди даљим развојем аутономије који води добијању њихове способности самосталног доношења одлука.

Употреба БПЛ у привреди, праћењу природних непогода и осталих активности корисних за решавање сложених и корисних животних проблема људи улива поверење јер показују да се БПЛ не користе само за убијање у ратовима и у тероризму.

У процесу развоја и оперативне употребе, Ваздухопловне снаге САД-а су створиле услове да већ сада траже од своје ваздухопловне индустрије да им обезбеде БПЛ скиборџ (енгл. Skyborg) до 2023. године, на којима је у великој мери примењена вештачка интелигенција.

Ове БПЛ су способне да аутономно узлете, слете и обаве одговарајуће мисије. Осим тога, створиће услове да Ратно ваздухопловство САД-а добије могућност да знатно повећа своју флоту БПЛ са истим расположивим буџетом, а уједно и да значајно повећа своју укупну борбену моћ. Ове БПЛ биће способне да лете заједно са борбеним пилотираним авионима, ефикасно извршавајући ризичне мисије.

БПЛ Скиборџ носиће и ракете ваздух-ваздух, које носе и авиони пете генерације, F-22 раптор и F-35 лајтинг II.

8. БПЛ, које ће имати значајну улогу у наредним деценијама

Изабрани су медијски познати представници који су били доступни у време писања ове књиге.

8.1. MQ-9 РИПЕР

MQ-9 рипер је прва борбена БПЛ опремљена за борбу ваздух-ваздух. Пројектована је за дуготрајни надзор и за лет на великој надморској висини. Управља се истом земаљском станицом као и MQ-1 преда-тор. Беспилотну летелицу Рипер погони турбоелисни мотор од 950 коњских снага (712 kW), а управља се и надгледа из командне ста-нице, укључујући и управљање дејством његовог ефикасног оружја које носи.

Беспилотну летелицу MQ-9 рипер увела је америчка војска у опе-ративну употребу 1. маја 2007. године, у оквиру већ постојећих једи-ница беспилотних летелица MQ-1 у ваздухопловној бази у Невади.

Пилоти су њиме први пут извршили борбене мисије у Ираку и Авганистану, 28. октобра 2007. године. Према званичном извештају, МК-9 је постигао своју прву успешну борбену мисију када је лансирао ракету на положаје авганистанских побуњеника. До 6. марта 2008. године, Рипер је напао 16 циљева у Авганистану користећи бомбе од 230 и 500 kg и ракете Хелфајер.

Из ваздухопловне базе Балад у Ираку, 17. јула 2008. године поче-ле су борбене мисије беспилотном летелицом Рипер. До марта 2009. године, америчка војска је имала 28 примерака оперативних Рипера.

Током борбене мисије над Авганистаном, због губитка пози-тивног управљања са MQ-9 13. септембра 2009. године, постало је неопходно да је Американци сами униште. Летелица је почела неконт-ролисано да лети према авганистанској граници са Таџикистаном. То је изнудило њено обарање сопственим авионом F-15E, директним поготком у мотор ракетом AIM-9. Пре него што је летелица ударила о тло, успостављен је контакт са њом и она је усмерена у планински предео, где се самоуништила. То је била прва америчка БПЛ коју су савезничке снаге саме изнуђено и свесно уништиле.

Слика 93.
„Таксирање“
БПЛ МК-9
рипера у
Авганистану,
2007. године



До јула 2010. године, тридесет и осам беспилотних летелица Предатор и Рипер изгубљено је током борбених операција у Авганистану и Ираку, а још девет је изгубљено у мисијама за обуку у САД-у исте године. Изведено је преко 33.000 мисија блиске ваздушне подршке, а то је пораст изнад 20 процената у односу на 2009. годину. До марта 2011. године, Америчко ратно ваздухопловство имало је 48 борбених патрола Предатора и Рипера, изведених у ваздушном простору Ирака и Авганистана, што је значајан пораст њихове употребе у поређењу са 18 у 2007. години.

Прва борбена јединица БПЛ Рипер оформљена је у марту 2011. године. Тада су ваздухопловне снаге САД-а обучавале више пилота за напредне беспилотне летелице него за било који други појединачни систем наоружања.

Беспилотне летелице Рипер користи Ратна морнарица Сједињених Држава, CIA, америчка царинска и гранична заштита, NASA и полицијске снаге неколико других земаља. САД су 2016. године имале 195 примерака MQ-9 рипера, а планирају да их задрже у оперативној употреби све до 2030. године.



Слика 94. Рипер са подвешеним убојним средствима

КАРАКТЕРИСТИКЕ

Опште:

- **Посада:** 0 у БПЛ, две особе (оператори) у командној станици, у бази на тлу земља/пловни објекат
- **Дужина:** 11 m
- **Распон крила:** 20 m
- **Висина:** 3,81 m
- **Маса празан:** 2.223 kg
- **Мах маса при полетању:** 4.760 kg
- **Маса горива:** 1.800 kg
- **Корисни терет:** 1.700 kg (унутрашњи: 360 kg спољни: 1.400 kg)

Погон: 1 × турбоелисни мотор Honeywell ТРЕ331-10, од 950 коњских снага (712 kW) са дигиталним електронским управљањем.

Перформансе:

- Максимална брзина: 482 km/h
- Брзина крстарења: 313 km/h
- Долет: 1.900 km
- Трајање лета: 14 часова
- Плафон лета: 15.000 m
- Оперативна висина: 7,5 km

Наоружање:

Поставља се на спољне носаче

- До 680 kg наоружања на два унутрашња поткрилна носача
- До 340 kg наоружања на два средња носача
- До 68 kg наоружања на два крајња носача.



Слика 95. Ракета AGM-114 хелфајер⁸

Опрема:

- Мулти спектрални систем гађања: AN/DAS-1 MTS-B
- Радар: AN/APY-8 линк II
- Raytheon Sea Vue – морнарички претаживачки радар

8.2. РУСКИ ОХОТНИК

С-70 охотник је руска тешка борбена беспилотна летелица, развија се и производи у чувеној фирми Сухој.

Концепцијски, у пројекту БПЛ Охотник примењена је аеродинамичка шема „летеће крило“, слично као код америчког бомбардера В-2 спирит. Циљ је био да се спољним обликовањем максимално умањи уочљивост летелице (аеродинамичким обликовањем за минимални радарски одраз, „стелт“ технологија).

Почетком 2019. године, трећи прототип Су-57 коришћен је као „летећа лабораторија“ за испитивање бројних система у оквиру пројекта Охотник, а посебно су испитивани комуникацијска опрема и систем групне употребе беспилотних летелица. Многи развијени и проверени системи на Су-57 прилагођени су и искоришћени и у овом пројекту.

Свој први лет Охотник је обавио 3. августа 2019. године, а лет је трајао више од 30 минута. Летелица под контролом оператера извела

⁸ AGM-114 хелфајер је ракета ваздух-земља. Првобитно је развијена за директну оклопну борбу, али су касније развијене варијанте за прецизна дејства са беспилопних летелица директних различитих врста циљева и коришћене су за напад и убиство високо профилисаних појединих личности. Велике је прецизности и разорне моћи, по више врста циљева. Маса је око 50 kg, оперативни долет јој је од 0,499 до 11.008 km. Наводи се помоћу ласерског снаја, по систему роботичкој усмеравања до циља.

Слика 96.
Руска БПЛ
Охойник у
вожњи



је неколико прелета аеродрома на надморској висини од око 600 метара и затим успешно слетела.

Руско Министарство одбране известило је медије 27. септембра 2019. године о првом заједничком лету БПЛ охотник и ловца пете генерације Су-57.

Разрађена је интеракција Охотника у аутоматизованом режиму лета и авиона Су-57 за ширење радарског борбеног поља и означавање циља на безбедној дистанци од авиона Су-57. Тако авион Су-57 добија сензорске сигнале из много веће удаљености од домета својих. Авион дејствује далекометним вођеним оружјем, без потребе уласка у ризичну зону противваздушне одбране противника. На овај начин је ловац Су-57 заштићен, са смањеним ризиком има услове да успешно изврши планиране борбене задатке са безбедне дистанце.

Радарски систем и комуникациони систем омогућавају употребу Охотника за ширење радарског поља за потребе других борбених авиона и даљинско означавање циљева.

Практично, Охотник приноси сензоре ближе противнику и њихове сигнале као „мост“ преноси својим ловачким авионима. Тако се стварају услови коришћења оружја дугог домета, лансирани са сопственог борбеног пилотираног авиона без уласка у ризичну зону противваздушне одбране непријатеља.

На овај начин се уклања ограничавајући фактор домета радара авиона носача оружја. На одређени начин Охотник (у тој улози) врши део функција које обавља и амарички авион Авакс, с тим што није лоциран иза ловаца већ је истурен испред њих, а и респективно је наоружан за напад и самоодбрану.

Слика 97.
Бочно
снимљена БПЛ
Охойник, на
стајајанци





Слика 98. БПЛ Охотник и ловац Су-5 – иредвиђа се да ће здружено борбено дејствовати.

Својим карактеристикама смањене уочљивости, опремљеношћу, полетном масом, носивошћу убојних средстава и летних карактеристика, Охотник се разликује од пилотираних авиона једино по томе што нема пилотску кабину и њену опрему. Близак је авионима пете и наредне шесте генерације, утапа се у исти појам супер напредних летелица. Многи системи са Су-57 подешени су и пренети на БПЛ Охотник.

Експерти сматрају да ће руска БПЛ Охотник, уз садејство са борбеним авионом пете генерације Су-57, успешно продирати кроз непријатељску противавионску одбрану, у функцији повећања ефикасности при задацима обезбеђења превласти у своме ваздушном простору.

Проширењем активног радарског поља, испред Су-57, Охотник смањене уочљивости биће истурен ближе бојишту у поље могућег непријатељског радарског захвата и са својим сензорима откривати и лоцирати непријатељске циљеве, преносити те информације авиону Су-57, који ће са безбедне удаљености да их уништава далекометним прецизним оружјем.

Такође, Охотник са својом великом носивошћу наоружања, биће веома моћан и ефикасан у задацима самоодбране и самосталног напада непријатељских борбених система.

КАРАКТЕРИСТИКЕ

Опште:

- **Посада:** 0 у БПЛ, две особе у командној станици, на тлу
- **Дужина:** 14 m
- **Распон крила:** 19 m
- **Мах брзина:** 1.400 km/h
- **Маса наоружања:** 2.800 kg
- **Мах маса при полетању:** \approx 25.000 kg
- **Погон:** 1 x АЛ-31Ф

Потисак: 86,3 / 142,2 kN

Системи опреме:

- систем за управљање информацијама,
- радарски систем,

- аутоматски системи управљања,
- систем за повезивање са општом опремом,
- систем за надгледање и дијагностику уграђене опреме и
- инерцијални сателитски навигациони систем.

8.3. БПЛ НЕУРОН

БПЛ Неурон (енгл. *UAV Neuron*, *стилизовано nEUROn*) је европска експериментална борбена беспилотна летелица умањене учљивости на принципу аеродинамичке шеме „летеће крило“ (демонстратор напредних технологија). Аеродинамичка шема је слична примењеној на бомбардеру В-2 спирит. Носилац развоја ове летелице је француска фирма Дасо авиони.

Идејна концепција и развој БПЛ Неурон, одвијали су се постепено у корацима, још од 1999. године, па све до усвојеног стандарда. Дасо авиони су сопственим средствима покренули програм развоја. После годину дана испитивања аеродинамичког облика у аеротунелима, направљен је идејни пројекат „технолошког демонстратора беспилотних борбених авиона“, 2000. године.

У оквиру тога истраживања и развоја изграђен је смањени модел, експериментална летелица – смањене учљивости, која је као таква извела први лет у Европи. То је била летелица смањене величине (модел), са само 2 m распона крила и масе 50 kg, која је летела малом брзином и радиом–управљана (RC) само у видном пољу оператора. Њена смањена учљивост испитивана је радарима у септембру 2003. године. Следећи корак је био изградња и испитивање већег модела, масе 500 kg, који је на основу добијених резултата испитивања омогућио развој прототипова Неурона. Овај модел се разликује од претходног, тако што је заснован на аеродинамичкој форми „летећег крила“.

Овај пут, експерименталног дела развоја довео је до стандарда прототипа Неурона, који је у ствари постао паневропски демонстратор БПЛ.

Циљ демонстратора БПЛ Неурона је стварање основе европским пројектанским бироима који ће им помоћи да развијају напредне



Слика 99.
Изложена макета
БПЛ Нерон на
Париском салону
авиона 2009. године



Слика 100. БПЛ
Неурон је полетела
1. децембар 2012.
године у Истјуру у
Француској

технологије беспилотног летења и да одржавају свој технолошки потенцијал у наредним годинама, у корак са напредним земљама.

Пројекат БПЛ Неурона, превазишао је теоријске студије, које су детаљно спроведене, постао је основа изградњи и демонстрацији беспилотног летења будућих напредних генерација летелица.

То је такође и начин да се имплементира иновативани процес у погледу управљања и организације европског програма сарадње.

Макета у правој величини прве једномоторне верзије БПЛ Неурона, приказана је на Париском салону авиона 2005. године, а двомоторне, 2007. године.

Циљеви демонстрације са „технолошким демонстратором” БПЛ Неурона, доказ су:

Система управљања при аутономном лету у мисијама ваздух-земља, укључењем у мрежу C4ISR (енгл. *Computerized Command, Control, Communications en 2007, anciennement Command, Control, Communications, Computers*) (команде лета, управљање, комуникације, рачунари), у трајању до 100 минута, на удаљености до 100 km од базе испитивања.

Развоја летеће платформе смањене уочљивости, у домену радарског и топлотног одраза.

Могућности ношења оружја (2 x ласерски вођене бомбе од по 250 kg и друге опције у оквиру те тежине и габарита) у унутрашњем „бункеру” и могућност брзе употребе истог.

На БПЛ Неурону као демонстратору напредних технологија интегрисана је и доказана тренутно постојећа најсавременија свемирска и ваздухопловна технологија у оквиру европске индустрије.

Неурон је знатно већи и напреднији од многих других познатих БПЛ, као што је нпр. Предатор. Компатибилан је са системима са којима је и интегрисан у садејство са борбеним авионима и са системима извиђања, обавештавања и јављања, у оквиру против ваздухопловне одбране и подршке копнене војске и морнарице.

Главни технолошки изазови су били у областима аеродинамике, композитних структура, унутрашње интеграције оружја, аутоматизације, информатичке технологије, вештачке интелигенције и веће отпорности (робусности) електронских система, посебно сензора.

Произилази да се са својим димензијама, масом и нивоом потиска погона Неурон уврштава међу летелице, величине, пилотираног авиона Миража 2000.

Беспилотна летелица Неурон ће се производити у функцији демонстратора напредних технологија, у мањем броју примерака. На њима ће се реализовати оперативна и технолошка истраживања нових концепција и намена будућих генерација БПЛ смањене уочљивости, што ће бити основа за дефинисање стандарда за производњу оваквих летелица у периоду од 2020. до 2025. године. Према плану, БПЛ Неурон је испитана у лету, почетком друге деценије двадесет првог века, на простору Француске, Италије и Шведске.

Основни је циљ да се са платформом БПЛ Неурон (демонстратором напредних технологија) истраже и постигну ефекти:

- Дежурства у ваздушном простору.
- Да се ефикасно интегрише у глобалну аутоматизовану мрежу извиђања, јављања и обавештавања и борбених дејстава.
- Минимизирања радарских и топлотних одраза на даваче (сензоре) са земље и с других летелица.
- Носивости напредног наоружања и способности успешног борбеног дејства.

Кроз овај програм, је доказивана концепција управљања борбеном БПЛ, величине и технологије борбених авиона, обезбеђујући висок ниво поузданости. То је условило да се десетак нових технологија морало развити, у овом програму:

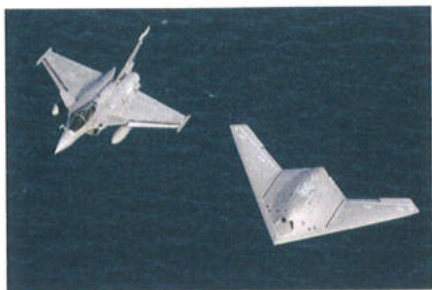
- Недостајући део технологије за смањење уочљивости.
- Беспилотно полетање и слетање и укључивање у ваздушни саобраћај.

Да би се истражила алтернатива за појединачну употребу беспилотног ловачког авиона до 2025. године, развијена је беспилотна летелица Неурон под окриљем Делегације за опште наоружање (фран. *Délégation Générale pour l'Armement*) (DGA) Европске алијансе. У овај програм укључени су француски Дасо авиони (главни извођач радова), Талес, шведски Саб, грчки ЕАВ, шпански ЕАДС САСА, италијански Алениа авиони и швајцарски RUAG.

Први лет БПЛ Неурона, изведен је 1. децембар 2012. године. Испитивање у лету трајало је две године, у Француској, Шведској и Италији.

Компанија Дасо авиони је у марту 2014. године извела лет у формацији Неурона, пилотираног авион Рафала и пословног авиона Фалкона 7К, обележивши прву операцију на свету у којој је борбени беспилотни авион летео у формацији са пилотирани авионима.

Читава операција, која је трајала око сат и 50 минута, изведена је преко Средоземља на удаљености од неколико стотина километара.



Слика 101. БПЛ Неурон у лети, самостјално и у формацији са вишенаменским Рафалом

По изгледу из профила, БПЛ Неурон асоцира на птицу орла, са кљуном од кога се постепено линије утапају у аеродинамичан труп који се постепено утапа у полукрила, без наглих прелазних закривљења. Уводник ваздуха је скривен и почиње на месту где се код пилотираног авиона поставља ветробран кабине. Тако конципиран усисник скрива лопатице компресора мотора од радарског одраза. У функцији смањења радарског одраза, преко укупног смањења рефлексних површина, остављене су стабилизујуће површине хоризонталног и вертикалног репа. Стабилизација се, уместо тим аеронадимичким површинама, реализује преко покретних делова излазне ивице крила софистицираним системом команди лета, аутопилотом и пригушивачима.

Дужина БПЛ Неурон је око 10 m, а распон крила око 12,5 m. Маса празног је 4.900 kg, а максимална полетна је 6.500 kg.

Неурон демонстратор користи моторе Адур Mk.951 укупног потиска 40 dN (који погоне и авион Јагуар). У будућности се планира прелазак на један мотор М88 од 75 dN потиска, који погоне и авион Рафал.

БПЛ Неурон је подзвучна, са опсегом брзина лета, израженим преко Маховог броја од $M = 0,3 - 0,8$.

Архитектура, са сложеним линијама просторног постепеног преласка трупа у крила БПЛ Неурон, рачунски је оптимизирана помоћу моћног рачунара, по критеријуму минималног радарског одраза. Структура је произведена са максималном употребом композита. У компанији Дасо авиони, кроз програм Рафала, максимално су освојене савремене технологије композита и за склопове структуре најсложенијег облика.

Произилази да је беспилотна летелица Неурон има вишеструко умањен радарски и топлотни одраз:

- применом композитних материјала, који не рефлектује радарске зраке,
- минимизацијом рефлексних површина, подешеним прелазима између површина склопова и
- скривеношћу усисника ваздуха, издува мотора и наоружања (у бункерима у трупу).

Планирани буџет за развој летелице је 400 милиона евра. Предрачунска вредност једне серијске летелице је 25 милиона евра.

8.4. АУСТРАЛИЈСКА БПЛ

Аустралијска БПЛ заснована је на вештачкој интелигенцији и биће намењена за борбу у ваздушном простору. Планирано је да њоме управља пилот из пилотираног ловачког авиона.

Ваздухопловне аустралиске снага приказале су своју БПЛ 4. Маја 2020. године, уз веома оскудне податке. Носилац развоја те БПЛ је позната фирма Боинг.

Ваздухопловне аустралијске снаге приказале су своју БПЛ 4. маја 2020. године, уз веома оскудне податке. Носилац развоја те БПЛ је позната фирма Боинг.

Аустралијска индустријска групација званично је саопштила да је то за Краљевско аустралијско ваздухопловство историјски догађај, као и за цело друштво и заједницу.

Очекује се, поред управљања са пилотираног ловца, да ће та БПЛ бити способна да аутономно лети и да притом може веома сложено маневрисати.

Компанија је нагласила да се развијају три прототипа. Ускоро ће почети испитивања на земљи првог примерка, а у лету до краја 2020. године. Планирано је да летелице има долет око 3.700 километара.

Масовна серијска производња трајаће наредних пет година, после донете одлуке засноване на резултатима испитивања на земљи и у лету.

Ова беспилотна летелица приближно је величине пилотираног ловачког авиона. Првенствено је намењена за електронско ратовање, а моћиће да носи и бомбе. Међутим, основна намена ће јој бити вођење електронских ратних и извиђачких мисија, посебно у окружењима за која се сматра да је ризично слати пилотиране ваздухоплове.

Са доње стране летелице је велики spremnik, у коме су смештени сензори и опрема за електронско ратовање. Тај простор се такође може користити за ношење бомби.



Слика 102.
Аустралијска БПЛ
развијена у Боингу

8.5. ЦРНИ СТРШЉЕН

БПЛ Црни стршљен је џепне величине, америчким војним трупама пружа драгоцене податке током борбе.

Изузетно је лаган, тих, скоро бешуман и може да лети до 25 минута, али што је најважније, може да лоцира непријатеља и пружи кориснику изразиту војну тактичку предност у борби.

Првобитни уговор је био вредан 39,7 милиона америчких долара са условом почетка испоруке у јануару 2019. године.

Закључен је и други од 20,6 милиона америчких долара, за испоруку модифицираних/унапређених БПЛ Црни стршљен 3, као део текућег програма набавке система за потребе војника. То потврђује план да ће ово средство за извиђање противника бити у употреби током наредних деценија овог века.

Црни Стршљен 3 задовољава врхунски пренос података на нивоима војних јединица вода и мањих.

Могућности перформанси овог система, интегрисаним сензорима пружа војницима тренутну ситуациону представу о противнику, која је тактички релевантна.

Армијски систем који преноси информације војницима није довољан алат за информисање о тактичкој ситуацији, пружањем видео-представе оперативног окружења у стварном времену.

Национална одбрана САД-а саопштила је да сензори Црног стршљена омогућавају видео-пренос слике уживо, високе резолуције, оператеру преко сигурне везе за пренос података.



Слика 104. Војник њушиа БПЛ Црни стршљен



Слика 103. Америчка микро БПЛ Црни стршљен, у извиђачку мисију обликована по шеми хеликоптера

БПЛ тежи приближно 33 грама и отприлике је величине мобилног телефона, скоро као џепни преносни рачунар.

До данас је испоручено више од 12.000 примерака тих БПЛ, у више од 40 земаља, укључујући британску, француску и аустралијску војску.

9. Рад Ваздухопловнотехничког института на идејном пројекту БПЛ

Почетком седамдесетих година двадесетог века, Ваздухопловнотехнички институт озбиљно се залагао за програмирање развоја, производње и увођења у оперативну употребу БПЛ у ЈНА. Начелно је то и прихваћено, почетком 80. година, али суштински је тај програм све време био без праве и стандардне подршке. Томе програму није дат статус осталих програма, према тада важећим прописима. Све време је био без икаквих приоритета и интересовања армијских структура, чак није нађено за сходно да му се одреди тактички носилац, што је основа за регуларно и ефикасно одвијање програма. Нажалост, овај програм, односно ово борбено средство, тада није озбиљно схваћен.

Чињеница је да није никад имао тактичког носиоца, који би дефинисао тактичко-техничке захтеве (ТТЗ), организовао програмирање, обезбеђивао одговарајућу дисциплину у финансирању, контролисао, кориговао и подстицао реализацију. То је јединствен случај не спровођења правилника G-400 који је био кровни документ за реализацију свих армијских програма. У свим осталим случајевима се тај пропис строго спроводио. Ниједна армијска структура није имала одговоран однос и заинтересованост према тој технологији која је надолазила у значајном својству, у скорој будућности. Последице таквог стања биле су да су планирана средства за програм БПЛ годинама служила за корекцију потреба других, за ребаланса буџета на крају године.

У току грађанског рата у СФРЈ и агресије НАТО, сагледане су штетне последице тог пропуста и непостојања визије, али већ је било касно. Сада се то пропуштено покушава надокнадити куповином БПЛ из иностранства и домаћим развојем, у нереалним условима, условима непостојања потребних кадровских, производних и технолошких потенцијала, а посебно у условима срушених устаљених и нужних надлежности и принципа управљања ваздухопловним технологијама примењиваних раније код нас, у духу прописа и праксе целог света.

10. Рецензија

Последњих двадесет година сведоци смо веома убрзаног развоја технологија, што је за то време утицало да променимо свој поглед на војне авионе од млазних ловаца пете генерације преко даљински пилотираних ваздухоплова (енгл. *Remotely Piloted Aircraft*, RPA), до потпуно аутономних беспилотних летелица (енгл. *Intelligent/Autonomous Unmanned Aerial Vehicle*) које могу да извршавају задатке без даљинског управљања ослањајући се на вештачку интелигенцију.

Савремене беспилотне летелице су комплексни системи и демонстратори напредних технологија које чине летелица и земаљска пилотска станица за управљање преко комуникационих веза. У овој књизи аутор је настојао да приближи читаоцу софистицираност и комплексност ових система посвећујући највећи део књиге опису напредних технологија, примењених код БПЛ, као и њихову оперативну употребу.

Првобитна примена војних БПЛ била је намењена ограничено за надзор и прикупљање информација, а с временом су развијане технологије и решења за извршавање мисија нивоа борбених авиона (енгл. *Unmanned Combat Aerial Vehicle*). У књизи су поменуте и описане борбене беспилотне летелице са аеродинамичком шемом летећег крила попут америчке Northrop Grumman X-47В, европске Dassault nEUROn, енглеске BAE Systems *Taranis*, руске С-70 охотник и кинеске AVIC 601-S. Према мишљењу аутора и многих стручњака из области војног ваздухопловства, млазни ловци шесте генерације биће управо борбени авиони без пилота.

Аутор ове књиге је пионир покретања развоја технологија беспилотног летења на нашим просторима. Године 1976. на Универзитету у Београду одбранио је магистарски рад са темом „Алгоритамско управљање летелицама”. Као један од чланова најужег пројектног тима домаћег авиона Г-4 супер галеб (начелник сектора аеродинамике), директор пројекта радног назива Нови авион (НА) и дугогодишњи директор Ваздухопловнотехничког института у Жаркову, један је од најпозванијих да напише књигу на српском језику о беспилотним летелицама као тренутно једном од најсложенијих система са примењеним технологијама из великог броја различитих области.

Др Милан Синобад, дипл. инж. електр.
Институт за нанотехнологије у Лиону, Француска

11. Коришћене ознаке и скраћенице

- БПЛ – Беспилотна летелица
- ЈНА – Југословенска народна армија
- ПВО – Противваздухопловна одбрана
- М – Махов број
- Т – Потисак
- R_z – Аеродинамички узгон
- R_x – Аеродинамички отпор
- R_y – Аеродинамичка бочна сила
- М – Момент пропињања
- L – Момент ваљања
- N – Момент скретања
- n – Фактор аеродинамичког оптерећења
- g – Гравитациона константа
- УСАФ – Америчко ратно ваздухопловство
- SACGS – Систем за преношење рачунарске подршке беспилотним летелицама (енгл. *Computer Assisted Carrier Guidance System*).
- STANAG 4586 – Споразумна стандардизација (енгл. *Standardization Agreement*)
- LORAN – Радио–навигациони систем дугог домета (енгл. *long range navigation*)
- OMEGA – Радио–навигациони систем глобалног домета (енгл. *global-range radio navigation system*)
- TACAN – Тактички систем за навигацију у ваздушном простору (енгл. *Utactical air navigation system*)
- VOR/DME – Радио сигнал који комбинује VHF свесмерни распон (VOR) са опремом за мерење растојања (DME).
- DECCA – Радио – навигациони систем који омогућава бродовима и ваздухопловима да одређују свој положај примајући радио сигнале са фиксних навигационих сигнала.
- ИНС – Инерцијални навигациони систем.
- ГПС – Глобални позициони систем.
- RC – Радио–управљање (енгл. *radio control*)
- MALE – Средња надморска висина и дуга аутономија лета.
- HALE – Велика надморска висина, дуга аутономија лета (енгл. *high altitude long endurance*).

- V – Опсег микроталасног дела електромагнетног спектра фреквенција од 40 до 75 ГХз) GHz.
- M – Опсег микроталасног дела електромагнетног спектра фреквенција од 60 до 100 GHz.
- W + Опсег микроталасног дела електромагнетног спектра фреквенција од 75 до 110 гигахерца (GHz).
- KU – Опсег део је електромагнетног спектра у микроталасном опсегу фреквенција од 12 до 18 GHz
- SBC – Рачунар са једном плочом (енгл. *Single-board computer*)
- SOC – Систем кристалног чипа (енгл. *system on chip*)
- EW – Електронско ратовање (енгл. *Electronic warfare*)
- SAR – Радар синтетичког отвора (енгл. *Synthetic Aperture Radar*)
- SLAR – Радар за бочно осматрање и снимање у ваздушном простору (енгл. *side looking airborne radar*)
- GMTI – Режим праћења и снимања покретног циља (енгл. *moving target tracking and recording mode*)
- JPEG – Заједнички алгоритми за компримовање фотографија (енгл. *Joint Photographic Experts Group compression algorithms*)
- NITFS – Национални стандард преноса слике (енгл. *National Imagery Transmission Format Standard*)
- SDE – Проширење подршке (енгл. *support extensions*)
- WAS – Широка површина (енгл. *wide area*)
- SDE – Самоодређена припадност (енгл. *Self defined ethnicity*)
- TESAR – Тактичка издржљивост синтетичког радарског отвора (бленде) (енгл. *Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar*)
- LOS/UHF – Режији рада дуге/ултра-високе фреквенције (енгл. *Length of stay/Ultra high frequency LOS/UHF*).
- GCS – Земаљска станица управљања (енгл. *ground control station*)
- DLT тракама – бесконачне покретне траке (енгл. *Digital Linear Tape*)
- LIDAR – Детекција дометом светлости (енгл. *Light Detection and Ranging*)
- DMT – Дигитални модел терена (енгл. *Digital terrain model*)
- FC – Команде лета (енгл. *flight controller*)
- FCC – Рачунар за управљање летом (енгл. *flight control computer*)
- VPU – Процесна јединица визије (енгл. *vision processing unit*)
- FCB – Плоча команди лета или аутопилот (енгл. *flight controller board or autopilot*)
- ISR – Инфрацрвени сензори (енгл. *infrared sensors*)
- AHRS – Референтни систем става (положаја) и правца (енгл. *Attitude and Heading Reference System*)
- MEMS – Микро-електро-механички системи (енгл. *Micro Electro-Mechanical Systems*)
- IMU – Систем за мерење инерције (енгл. *Inertial Measure Unit*)

- AHRS – Референтни систем положаја и правца (енгл. *Attitude and Heading Reference System*)
- LQG – (енгл. *as an acronym may refer to: Loop quantum gravity*)
- SDRE – Нумеричком решавању Рицаттијеве једначине (енгл. *state-dependent Ricatti equation*)
- CAN – Садржај команди лета, међусобно је умрежен (енгл. *Controller Area Network*)
- MPC – Модел предвиђајућег управљања (енгл. *model predictive control*)
- ICAO – Специјална агенција за цивилно ваздухопловство при УН (енгл. *International Civil Aviation Organization*) is a UN specialized agency)
- PI – Пропорционално интегрално управљање (енгл. *proportional integral control*)
- PID – Пропорционални интегрални дериватив (енгл. *proportional integral derivative*)

12. Извори

- [1] V. Technologies, "DeltaQuad Pro #VIEW VTOL Surveillance UAV," DeltaQuad VTOL UAV. <https://www.deltaquad.com/vtol-drones/view/> (accessed Apr. 04, 2020).
- [2] "DRONE ENABLE, ICAO's Third Unmanned Aircraft Systems Industry Symposium (DRONE ENABLE/3) 12 - 14 November 2019." <https://www.icao.int/Meetings/DRONEENABLE3/Pages/default.aspx> (accessed Apr. 06, 2020).
- [3] Brian P. Tice, "Unmanned Aerial Vehicles: The Force Multiplier Of The 1990s," *Airpower J.*, vol. 1, no. 1, 1991, Accessed: Apr. 04, 2020. [Online]. Available: https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/ASPJ/journals/Volume-05_Issue-1-4/1991_Vol5_No1.pdf.
- [4] "Civilian Drones: Fixing an Image Problem? – CSS Blog Network." <https://isnblog.ethz.ch/security/civilian-drones-fixing-an-image-problem> (accessed Apr. 04, 2020).
- [5] "Drones smuggling porn, drugs to inmates around the world," Fox News, Apr. 17, 2017. <https://www.foxnews.com/us/drones-smuggling-porn-drugs-to-inmates-around-the-world> (accessed Apr. 04, 2020).
- [6] M. Dempsey, "The stealthy little drones that fly like insects," BBC News, Apr. 21, 2020.
- [7] Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030. [United States]: Office of the secretary of defense washington dc, 2005.
- [8] Anthony Wallace, "State government gears up for autonomous RPAS mapping," *Spatial Source*, Jan. 23, 2017. <https://www.spatialsource.com.au/unmanned/state-government-gears-autonomous-rpas-mapping> (accessed Apr. 04, 2020).
- [9] "What is the difference between a drone and an RC plane or helicopter? – Drones Etc." <https://www.dronesetc.com/blogs/news/21481409-what-is-the-difference-between-a-drone-and-an-rc-plane-or-helicopter> (accessed Apr. 04, 2020).
- [10] S. Tucker and P. Mary. Roberts, "The encyclopedia of the Arab-Israeli conflict a political, social, and military history," 2009. .
- [11] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A tutorial on synthetic aperture radar," *IEEE Geosci. Remote Sens. Mag.*, vol. 1, no. 1, pp. 6–43, Mar. 2013, doi: 10.1109/MGRS.2013.2248301.

- [12] F. E. González, M. J. Ruiz, and F. M. Acosta, Remote Sensing Tutorial. TELECAN Project, Las Palmas, University of Las Palmas of Gran Canaria, 2014.
- [13] Пустиња, Сава, “Алгоритамско управљање летелицама,” Магистарски Рад, Универзитет у Београду, Београд, 1976.
- [14] Пустиња, Сава, Ваздухопловна технологија СФРЈ уочи распада државе. Београд: С. Пустиња, 2017.
- [15] Пустиња, Сава, Ловачки авиони. Београд: С. Пустиња, 2018.
- [16] J. S. Aber, I. Marzloff, J. B. Ries, and S. E. W. Aber, “Chapter 8 - Unmanned Aerial Systems,” in Small-Format Aerial Photography and UAS Imagery (Second Edition), Second Edition., J. S. Aber, I. Marzloff, J. B. Ries, and S. E. W. Aber, Eds. Academic Press, 2019, pp. 119–139.
- [17] „FESTO” <https://www.festo.com/group/en/cms/10216.htm>
- [18] J. Buckley, Air Power in the Age of Total War. Taylor & Francis, 2006.
- [19] G. L. Charvat, “Synthetic Aperture Radar (SAR) Imaging using the MIT IAP 2011 Laptop Based Radar,” p. 25.
- [20] N. Bojković, M. Petrović, and T. Parezanović, “Primena LIDAR tehnologije za prikupljanje prostornih podataka duž transportnih koridora.”
- [21] P.-J. Bristeau, F. Callou, D. Vissière, and N. Petit, “The Navigation and Control technology inside the AR.Drone micro UAV,” 18th IFAC World Congr., vol. 44, no. 1, pp. 1477–1484, Jan. 2011, doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.02327.
- [22] John Pike, “Airborne Reconnaissance - Low (ARL),” Federation of American Scientists. <https://fas.org/irp/program/collect/arl.htm> (accessed Apr. 05, 2020).
- [23] John Pike, “TESAR (Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar),” Federation of American Scientists. <https://fas.org/irp/program/collect/tesar.htm> (accessed Apr. 05, 2020).
- [24] K. Ouchi, “Recent Trend and Advance of Synthetic Aperture Radar with Selected Topics,” Remote Sens., vol. 5, no. 2, pp. 716–807, Feb. 2013, doi: 10.3390/rs5020716.
- [25] A. Fabio, “Droning On: Choosing A Flight Controller,” Hackaday, Jun. 06, 2014. <https://hackaday.com/2014/06/06/droning-on-flight-controller-round-up/> (accessed Apr. 05, 2020).
- [26] “UAV Navigation in depth: Inertial Navigation | UAV Navigation.” <https://www.uavnavigation.com/company/blog/uav-navigation-depth-inertial-navigation> (accessed Apr. 05, 2020).
- [27] Stephen M. Nolan, “Power Management for Internet of Things (IoT) System on a Chip (SoC) Development,” Design And Reuse. <https://www.design-reuse.com/articles/42705/power-management-for-iot-soc-development.html> (accessed Apr. 05, 2020).
- [28] “MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems) Technology.” <https://www.sensorland.com/HowPage023.html> (accessed Apr. 05, 2020).

- [29] P. Kulkarni, "Leakage Detection Using 'PLUMBOAT,'" vol. 4, no. 10, p. 5, 2014.
- [30] "The Physics of How Drones Fly | WIRED." <https://www.wired.com/2017/05/the-physics-of-drones/> (accessed Apr. 05, 2020).
- [31] J. E. Gomez-Balderas, P. Castillo, J. A. Guerrero, and R. Lozano, "Vision Based Tracking for a Mini-Rotorcraft Using Vanishing Points," 18th IFAC World Congr., vol. 44, no. 1, pp. 1504–1509, Jan. 2011, doi: 10.3182/20110828-6-IT-1002.03489.
- [32] "Common and Advanced Control Modes with UAVs," Embention, Feb. 09, 2018. <https://www.embention.com/news/control-modes-with-uavs/> (accessed Apr. 05, 2020).
- [33] J. D. Murphy, *Military Aircraft, Origins to 1918: An Illustrated History of Their Impact*. ABC-CLIO, 2005.
- [34] O. Spinka, S. Kroupa, and Z. Hanzálek, *Control System for Unmanned Aerial Vehicles*, vol. 1. 2007, p. 460.
- [35] "National Imagery Transmission Format Standard (NITFS)." <https://www.globalsecurity.org/intell/systems/nitfs.htm> (accessed Apr. 06, 2020).
- [36] M. Bento, "Unmanned aerial vehicles: An overview," GNSS, pp. 54–61, Jan. 2008.
- [37] F. S. Haydon and T. D. Crouch, *Military Ballooning during the Early Civil War*, Revised ed. edition. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000.
- [38] R. C. Mikesh, *Japan's World War II Balloon Bomb Attacks on North America*, New Ed. Washington: Smithsonian Institution Scholarly Press, 1990.
- [39] Ian G. R. Shaw, *The Rise of the Predator Empire: Tracing the History of U.S. Drones*. 2014.
- [40] J. W. R. Taylor and K. Munson, *Jane's pocket book of remotely piloted vehicles: robot aircraft today*. Collier Books, 1977.
- [41] U. S. Army Aviation Center of Excellence., "Eyes of the Army': U.S. Army Roadmap for Unmanned Systems, 2010-2035," Apr. 2010, Accessed: Apr. 06, 2020. [Online]. Available: <https://www.hsdl.org/?abstract&did=>.
- [42] V. K. Saxena, *The Amazing Growth and Journey of UAVs & Ballistic Missile Defence Capabilities: Where the Technology is Leading to*. United Service Institute of India, 2013.
- [43] H. Blum, *The Eve of Destruction: The Untold Story of the Yom Kippur War*, Reprint. New York: Harper Perennial, 2004.
- [44] *Lightning Bugs and other Reconnaissance Drones*. Washington : Fallbrook, CA: Aero Publishers, 1982.
- [45] "How the MQ-9 Reaper Works," HowStuffWorks, Jul. 22, 2008. <https://science.howstuffworks.com/reaper.htm> (accessed Apr. 06, 2020).

- [46] "Warplanes: Russia Buys A Bunch Of Israeli UAVs." <https://www.strategypage.com/htm/w/htairfo/articles/20090409.aspx> (accessed Apr. 06, 2020).
- [47] "Sukhoi S-70 Okhotnik-B," Wikipedia. Mar. 13, 2020, Accessed: Apr. 06, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Sukhoi_S-70_Okhotnik-B&oldid=945430152.
- [48] "UTAP-22 Mako." <https://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/utap-22.htm> (accessed Apr. 06, 2020).
- [49] Yuval Azoulai, "Unmanned combat vehicles shaping future warfare - Globes," Oct. 24, 2011. <https://en.globes.co.il/en/article--1000691790> (accessed Apr. 06, 2020).
- [50] Charles Levinson, "Israeli Robots Remake Battlefield - WSJ." <https://www.wsj.com/articles/SB126325146524725387> (accessed Apr. 06, 2020).
- [51] Z. Goraj et al., "High altitude long endurance unmanned aerial vehicle of a new generation - A design challenge for a low cost, reliable and high performance aircraft," Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci., vol. 52, pp. 173-194, Sep. 2004.
- [52] "Unmanned Aerial Vehicles." <https://craymond.no-ip.info/awk/twuav.html> (accessed Apr. 06, 2020).
- [53] M. Crowley, F. Hassan, and E. Schmitt, "U.S. Strike in Iraq Kills Qasim Suleimani, Commander of Iranian Forces," The New York Times, Jan. 02, 2020.
- [54] S. A. and N. Shachtman, "Almost 1 In 3 U.S. Warplanes Is a Robot," Wired, Jan. 09, 2012.
- [55] Kelley Saylor, "A World of Proliferated Drones: A Technology Primer." <https://www.cnas.org/publications/reports/a-world-of-proliferated-drones-a-technology-primer> (accessed Apr. 06, 2020).
- [56] "Knowledge Base: What are RTF, BNF and ARF drone kits?," rcDroneArena, Feb. 23, 2015. <http://www.rcdronearena.com/2015/02/23/what-is-rtf-bnf-arf-drone-kit/> (accessed Apr. 06, 2020).
- [57] J. Fingas, October 2, and 2016, "Drone flies as both biplane and helicopter using one propeller," Engadget. <https://www.engadget.com/amp/2016-10-02-hybrid-drone-flies-with-one-propeller.html> (accessed Apr. 06, 2020).
- [58] E. Brown, "Model airplane history-maker Maynard Hill dies at the age of 85," Washington Post, Jun. 09, 2011.
- [59] "Botmite 1 - based on MQ-9 Predator UAV." <http://botmite.com/> (accessed Apr. 06, 2020).
- [60] A. Shah, "7 dazzling smartphone improvements with Qualcomm's Snapdragon 835 chip," Network World, Jan. 03, 2017. <https://www.networkworld.com/article/3154386/7-dazzling-smartphone-improvements-with-qualcomms-snapdragon-835-chip.html> (accessed Apr. 06, 2020).

- [61] EETimes, "EETimes - The why, where and what of low-power SoC design -," EETimes, Dec. 03, 2004. <https://www.eetimes.com/the-why-where-and-what-of-low-power-soc-design/> (accessed Apr. 06, 2020).
- [62] S. Mittal, "A Survey on optimized implementation of deep learning models on the NVIDIA Jetson platform," *J. Syst. Archit.*, vol. 97, pp. 428–442, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.sysarc.2019.01.011.
- [63] D. Floreano and R. J. Wood, "Science, technology and the future of small autonomous drones," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 460–466, May 2015, doi: 10.1038/nature14542.
- [64] G. Fasano, D. Accardo, A. E. Tirri, A. Moccia, and E. De Lellis, "Radar/ electro-optical data fusion for non-cooperative UAS sense and avoid," *Aerosp. Sci. Technol.*, vol. 46, pp. 436–450, Oct. 2015, doi: 10.1016/j.ast.2015.08.010.
- [65] "Basic Principles of Inertial Navigation." Tampere University of Technology, [Online]. Available: <http://www.aerostudents.com/courses/avionics/InertialNavigationSystems.pdf>.
- [66] Н. Литовкин, "Какве ће се нападачке беспилотне летелице појавити у руској војсци наредне деценије?," 2018. <https://rs.rbth.com/science/83674-bespilotne-letelice-ruska-vojska> (accessed Apr. 07, 2020).
- [67] "Российские беспилотники: новейшие модели для вооружённых сил.," Яндекс Дзен | Платформа для авторов, издателей и брендов. <https://zen.yandex.ru/media/id/5d15183571584300ad318f99/rossiiskie-bespilotniki-noveishie-modeli-dlia-voorujennkmyh-sil-5dc1dc37f73d9d00af1ce2ab> (accessed Apr. 25, 2020).
- [68] "Беспилотные аппараты России," Fishki.net - Сайт хорошего настроения. <https://fishki.net/2612028-bespilotnye-apparaty-rossii.html> (accessed Apr. 25, 2020).
- [69] Dominic Nicholls, "'Drone swarms' led by F-35 jets will overwhelm Britain's enemies, Defence Secretary announces," Feb. 11, 2019. <https://www.telegraph.co.uk/news/2019/02/11/drone-swarms-led-f-35-jets-will-confuse-overwhelm-britains-enemies/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [70] "Surveillance Operation in Pakistan Located and Killed Al Qaeda Official (washingtonpost.com)." <https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/articles/A60743-2005May15.html> (accessed Apr. 07, 2020).
- [71] Kelsey D. Atherton, "The United Kingdom wants a drone swarm by 2022." <https://www.c4isrnet.com/unmanned/2019/02/13/the-united-kingdom-wants-a-drone-swarm-by-2022/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [72] Aaron Gregg, "Swarming attack drones could soon be real weapons for the military," *Los Angeles Times*, Feb. 19, 2019. <https://www.latimes.com/business/la-fi-drone-swarms-20190219-story.html> (accessed Apr. 07, 2020).

- [73] "1,000th Flight of a German Reconnaissance Drone CL-289." [http://www.defense-aerospace.com/article-view/release/5226/german-cl_289-uav-makes-1000th-flight-\(may-4\).html](http://www.defense-aerospace.com/article-view/release/5226/german-cl_289-uav-makes-1000th-flight-(may-4).html) (accessed Apr. 07, 2020).
- [74] "IS group confirms 'Jihadi John' death," BBC News, Jan. 19, 2016.
- [75] "Reaper Strike Likely Killed 'Jihadi John' | Military.com." <https://www.military.com/defensetech/2015/11/13/reaper-strike-likely-killed-jihadi-john> (accessed Apr. 07, 2020).
- [76] "Afghanistan: Reported US air and drone strikes 2016," The Bureau of Investigative Journalism. <https://www.thebureauinvestigates.com/drone-war/data/get-the-data-a-list-of-us-air-and-drone-strikes-afghanistan-2016> (accessed Apr. 07, 2020).
- [77] Reuters, "US drone strike intended for Isis hideout kills 30 pine nut workers in Afghanistan," The Guardian, Sep. 19, 2019.
- [78] "US strike targeting Taliban commander causes civilian casualties." <https://www.aljazeera.com/news/2020/01/strike-targeting-taliban-commander-civilian-casualties-200109165736421.html> (accessed Apr. 07, 2020).
- [79] "List of drone strikes in Yemen," Wikipedia. Apr. 02, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_drone_strikes_in_Yemen&oldid=948710498.
- [80] "Drone strike," Wikipedia. Apr. 06, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Drone_strike&oldid=949407387.
- [81] "Drone strikes in Pakistan," Wikipedia. Mar. 10, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Drone_strikes_in_Pakistan&oldid=944946924.
- [82] "List of drone strikes in Afghanistan," Wikipedia. Feb. 17, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=List_of_drone_strikes_in_Afghanistan&oldid=941275041.
- [83] Christopher Woody, "Trump is ordering airstrikes at 5 times the pace Obama did." <https://www.businessinsider.fr/us/trump-is-ordering-airstrikes-at-5-times-the-pace-obama-did-2017-4> (accessed Apr. 07, 2020).
- [84] "American military intervention in Somalia (2007–present)," Wikipedia. Apr. 02, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=American_military_intervention_in_Somalia_\(2007%E2%80%93present\)&oldid=948688565](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=American_military_intervention_in_Somalia_(2007%E2%80%93present)&oldid=948688565).
- [85] R. S. Watling Jack, "How the UAE's Chinese-Made Drone Is Changing the War in Yemen," Foreign Policy. <https://foreignpolicy.com/2018/04/27/drone-wars-how-the-uaes-chinese-made-drone-is-changing-the-war-in-yemen/> (accessed Apr. 07, 2020).

- [86] “Houthi drone kills troops loyal to Yemen government at Al-Anad airbase in Lahij,” *The Defense Post*, Jan. 10, 2019. <https://www.thedefensepost.com/2019/01/10/yemen-houthi-drone-kills-troops-lahij-al-anad-airbase/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [87] “Mediji: I dronovi UAE-a učestvuju u napadima na Tripoli,” *Al Jazeera Balkans*, Apr. 23, 2019. <http://balkans.aljazeera.net/vijesti/mediji-i-dronovi-uae-ucestvuj-u-napadima-na-tripoli> (accessed Apr. 24, 2020).
- [88] “Inter-Services Intelligence activities in Bosnia and Herzegovina,” Wikipedia. Mar. 09, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Inter-Services_Intelligence_activities_in_Bosnia_and_Herzegovina&oldid=944680970.
- [89] “Operation Deliberate Force,” Wikipedia. Mar. 30, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Operation_Deliberate_Force&oldid=948111251.
- [90] E. Becker, “CRISIS IN THE BALKANS: THE DRONES; They’re Unmanned, They Fly Low, and They Get the Picture,” *The New York Times*, Jun. 03, 1999.
- [91] Dan Gettinger, “Drones Operating in Syria and Iraq,” Dec. 13, 2016. <https://dronecenter.bard.edu/drones-operating-in-syria-and-iraq/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [92] “Killer drones: how many are there and who do they kill? | News | *The Guardian*.” <https://www.theguardian.com/news/2019/nov/18/killer-drones-how-many-uav-predator-reaper> (accessed Apr. 07, 2020).
- [93] “Компания «Сухой» будет разрабатывать проект ударного тяжелого беспилотного летательного аппарата - Газета.Ru.” https://www.gazeta.ru/politics/2012/07/06_a_4672589.shtml (accessed Apr. 07, 2020).
- [94] “Российский «Охотник» окажется сверхзвуковым: Оружие: Наука и техника: Lenta.ru.” <https://lenta.ru/news/2019/02/13/okh/> (accessed Apr. 07, 2020).
- [95] “Первое фото ударного беспилотника С-70 ‘Охотник’ появилось в Сети — Российская газета.” <https://rg.ru/2019/01/23/pervoe-foto-boevogo-bespilotnika-s-70-ohotnik-poiavilos-v-seti.html> (accessed Apr. 07, 2020).
- [96] “С-70 «Охотник»,” Википедия. Apr. 03, 2020, Accessed: Apr. 07, 2020. [Online]. Available: https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%A1-70_%C2%AB%D0%9E%D1%85%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B8%D0%BA%C2%BB&oldid=106088325.
- [97] “The U.S. Risks Losing the Drone-War Arms Race.” <https://news.yahoo.com/u-risks-losing-drone-war-103037969.html> (accessed May 05, 2020).
- [98] M. Hassanalian and A. Abdelkefi, “Classifications, applications, and design challenges of drones: A review,” *Prog. Aersp. Sci.*, vol. 91, pp. 99–131, 2017, doi: 10.1016/j.paerosci.2017.04.003.

- [99] D. Makichuk, „Stop the unmanned fighter world, I want to get off”, Asia Times, Maj 21, 2020. <https://asiatimes.com/2020/05/stop-the-unmanned-fighter-world-i-want-to-get-off/> (приступљено Јуни 15, 2020).
- [100] „The Air Force Wants AI-Powered Drone Jets by 2023 | Skyborg Drone”. <https://www.popularmechanics.com/military/aviation/a32631612/skyborg-drones-2023/> (приступљено Јуни 15, 2020).
- [101] „БПЛ неурон”, Википедија. Јан. 23, 2020, Приступљено: Јуни 15, 2020. [На Интернету]. Available at: https://sr.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%91%D0%9F%D0%9B_%D0%BD%D0%B5%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%BD&oldid=22834611.
- [102] „nEUROn Unmanned Combat Air Vehicle (UCAV) Demonstrator - Airforce Technology”. <https://www.airforce-technology.com/projects/neuron/> (приступљено Јуни 15, 2020).
- [103] „nEUROn, the European combat drone demonstrator: Introduction”, Dassault Aviation, a major player to aeronautics. <https://www.dassault-aviation.com/en/defense/neuron/introduction/> (приступљено Јуни 15, 2020).
- [104] eMotionButterflies, Ultralight flying objects with collective behavior.
- [105] „Шта је све приказано на импозантном сајму наоружања ...”

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

629.7.014.9

623.743:629.014.9

ПУСТИЊА, Сава, 1936-

Беспилотне летелице / Сава Пустинја. - Београд : С.
Пустинја, 2020 (Београд : Радунић). - 128 стр. : илустр. ; 24
cm

Тираж 500. - Коришћене ознаке и скраћенице: стр. 118-
120. - Стр. 117: Рецензија / Милан Синобад. - Коришћене
ознаке и скраћенице: стр. 118-120. - Библиографија: стр.
121-128.

ISBN 978-86-920833-2-7

а) Беспилотне летелице



Сава Пустиња је рођен у Банатском Карађорђеву, општина Житиште, 1936. године.

Основну школу је завршио у родном месту 1950. године, Средњу техничко-машинску „Петар Драпшин“ у Београду 1954. године, а Ваздухопловнотехничку академију у Жаркову и Рајловцу 1957. Уз рад у Институту, дипломирао и магистрирао је (у првој генерацији последипломаца), на Машинском факултету у Београду (ваздухопловни смер). Високу војну школу оператике, завршио је у другој класи 1988.

У Ваздухопловнотехничком институту у Жаркову радио је од 1957. до 1992. године, на пословима истраживања и развоја, прешавши пут од почетника извршиоца до највише дужности, директора Института. Наредне две године (1993 – 1994) био је начелник Ваздухопловнотехничке службе Генералштаба Војске СРЈ. У Министарству одбране обављао је функцију Помоћника Министра за војнопривредну делатност. Са те дужности, 1996. године, на сопствени захтев, одлази у безусловну пензију.

У чин генерал-мајора унапређен је у Ваздухопловнотехничком институту, а у Министарству одбране у генерал-потпуковника.

Аутор је монографије Ваздухопловна технологија СФРЈ уочи распада државе (Београд 2017.), књиге Ловачки авиони (Београд 2018.), чланака у сајту „Удружења за чување ваздухопловних традиција Србије“ и у Википедији на српском језику.

Живи у Београду.