

SAFE DRONES OVER SAFE ENVIRONMENT



HANDBOOK

Дрон – Беспилотна летелица (БПЛ)

2020-2023 SAFE DRONES OVER SAFE ENVIRONMENT

Tempus Foundation Erasmus + 2020-1-RS01-KA202-065370

Садржај

1 Увод	6
2 Историја	8
3 Оновни делови беспилотне летелице.....	12
3.1 Материјал конструкције дрона	13
3.2 Типови тела дронова	15
3.3 ТРУП – беспилотне летелице.....	16
3.4 Погон	18
3.4.1 Врсте погона у вазухопловству	18
3.4.2 Врсте погона дронова.....	25
3.5 Врсте погонске материје (горива) БПЛ.....	28
3.5.1 Основне особине горива	28
3.5.2 Хидрогенске горивне ћелије.....	28
3.5.3 Соларна енергија као погонско гориво	29
3.5.4 Типови готивних ћелија и начин одабира.....	29
3.5.5 Хибридни систем горивних ћелија	30
3.5.6 Водонична енергија	30
3.5.7 Хибридна батерија.....	31
3.6 Рачунарски и електронски системи.....	31
3.6.1 Сензори (Давачи).....	33
3.6.2 Акцелерометар.....	34
3.6.3 Жироскоп.....	34
3.6.4 Интеграција сензора у фузији сигнала	36
3.6.5 Сензори осетљиви и на великој удаљености	37
3.6.6 Радар SAR.....	39
3.6.7 Систем Lidar	45
3.6.8 Софтвер.....	47
3.6.9 Навигациони систем.....	48
3.6.10 Инерцијални навигациони систем (ИНС)	48

3.7 Команде лета, управљање и стабилност	53
3.8 Аутономија лета	57
3.9 Истраживачко-развојни пројекат БПЛ за аутомни лет	62
3.10 БПЛ класичне аеродинамичке шеме	64
3.11 БПЛ са четири ротора (квадратор)	65
4 Класификација, намена и употреба БПЛ	72
4.1 БПЛ категорије према домету и висини лета	74
4.2 Подела дронова према областима примене	78
4.2.1 Употреба дронова у војне сврхе	78
4.2.2 Употреба дронова у пољопривреди	89
4.2.3 Употреба БПЛ у испорукама	91
4.2.4 Мале БПЛ	93
4.2.5 Цивилна намена	94
4.2.6 Хобистичка намена	97
4.2.7 Дронови у акцијама трагања и спасавања	99
4.2.8 Дронови за лоцирање особа несталих у лавини	101
4.2.9 Свемирски летови дронова	102
4.2.10 Дронови у медицини	102
4.2.11 Снимање и спортски садржаји	104
4.3 Намена БПЛ	104
4.3.1 Технологија примене БПЛ	106
4.3.2 Технологија дрона	110
4.3.3 Дронови у Турској	111
5 Међународни прописи и регулативе из области БПЛ	112
5.1 Регулатива	112
5.2 Регулатива у Европи	112
5.3 Регулатива САД	114
5.4 Прописи на Исланду	115
5.5 Прописи у Јапану	116
5.6 Прописи у Србији	116
5.7 Дужност оператера беспилотне летелице	117
6 Безбедност и припрема лета	118
6.1 Основни параметри за безбедно извршење лета дрона	118

6.2 Безедносни минимум и максимум	119
6.3 Начин и врсте припреме лета	120
6.4 Начини избора врста управљања	120
6.5 Аутоматски лет по задатим кординатама	121
6.6 Слободан лет.....	122
6.6.1 Норме раздвајања	122
6.7 Софтверско обезбеђење лета.....	123
6.8 Избор радних фреквенција.....	124
6.9 Технологија дрона и њена будућа употреба и примена	125
6.10 Развој за БПЛ.....	130
6.11 Карактеристике слетања	131
6.11.1 Унапређен систем контроле	131
6.11.2 Дронови за децу	132
6.11.3 Контрола судара.....	132
7 Ваздухопловни метеоролошки извештаји	133
7.1 МЕТАР извештај	133
7.1.1 Објашњење значења група у извештају МЕТАР	134
7.1.2 Пример редовног извештаја.....	137
7.2 Специ изештај.....	137
7.2.1 Пример специјалног извештаја	138
7.3 Метеоролошке прогнозе у ваздухопловству	138
7.3.1 Прогноза за полетање.....	138
7.3.2 Прогноза за подручје и руту	139
7.3.3 Прогноза за аеродром.....	139
7.3.4 Прогноза за слетање	140
7.3.5 ТАФ и ТРЕНД прогноза.....	141
7.3.6 Примери аеродромских прогноза	142
8 Литература.....	146

Предговор

Еразмус+ пројекат „Safe drones over safe environment“ (2020-1-PC01-KA202-065370) представља сарадњу за технолошке иновације и унапређење еколошких перформанси које су најважније потребе индустрије. Ово стратешко партнерство повезује четири ваздухопловне ВЕТ школе:

- ✂ Aksu Ucak Bakim Teknolojisi Meslek Ve Teknik Anadolulisesi, Анталија, Турска,
- ✂ Istituto Tecnico Commerciale "G.P. Chironi", Нуоро, Италија,
- ✂ Asociacion Centro Benefico Ada Avenida Turia, Севиља, Шпанија,
- ✂ Ваздухопловна академија, Београд, Србија.

Пројекат је дао прилику за размену искустава, размену добрих пракси и сарадњу на подизању наших школа на виши ниво ширећи и интернационализујући образовне и техничке активности институција и учесника.

Овај приручник, као компилација свих истраживања, анализа и закључака током трајања пројекта, представља смерницу која обухвата сва истраживања која су рађена током пројекта. Приручник је објављен као коначна верзија на мрежи и биће бесплатно доступан свим осталим студентима и наставницима ваздухопловства, не само у школама које учествују, већ и свим другим заинтересованим странама. Публикација ће бити објављена на енглеском језику и преведена на матерњи језик школа учесница. Наставни материјали формата А4 омогућавају лако копирање и коришћење материјала на часу. Употреба приручника (преведеног на матерњи језик) интегрисана је у наставни план и програм сваке школе и покрива теме предмета одобрене/ажуриране од стране Министарства просвете/Центра за стручно образовање. Приручник се може користити у потпуности или делимично као дидактички и образовни ресурс у ваздухопловним школама широм Европе, или као полазна тачка за напредна истраживања и побољшања дизајнираних колекција података о беспилотним летелицама и животној средини. Овај резултат ће бити од великог значаја за све наставнике који су укључени у средње ваздухопловне школе широм Европе и може се користити као примарни или секундарни наставни ресурс, у зависности од наставног плана и програма сваке школе. Ова збирка наставног материјала, која се објављује као прва верзија, може се проширити у будућности након завршетка пројекта, у зависности од даљег иновативног доприноса наставника ваздухопловства и предстојеће сарадње која се очекује међу многим европским ваздухопловним школама.

Овај приручник израђен је у оквиру пројекта „Safe drones over safe environment“, (2020-1-RS01-KA202-065370), који је финансиран из Еразмус+ програма Европске уније.

1 Увод

Беспилотна летелица (БПЛ) (енгл. Unmanned aerial vehicle, UAV) нема летачку посаду. Њом 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 БПЛ. Лет може бити 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 отварају 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 војсци, 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 уравнотежио (натримовао), у последњем лету и напуштао, непосредно пре извођења гађања, у делу безбедног и слободног ваздушног простора.

Постоје решења БПЛ за једнократну употребу - *самоубице*. Оне су пуне експлозива и користе се за уништавање посебно важних циљева, слично крстарећим ракетама. Намена БПЛ се значајно проширила, осим примене у војсци користи се и у спорту, привреди, а све више 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 вишекратну 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 нестандардне летеће платформе.



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

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 ваздух-гло и ваздух-ваздух. Америчко ратно ваздухопловство планира огромно повећање флоте БПЛ у оперативној употреби до 2047. године, а и остале светске армије 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 по том питању још немају искристалисан став.

Широка је лепеза пројеката и примене беспилотних летелица. Још је већа 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.



Слика 2. Пример начина осветљавања беспилотне летелице

2 Историја

Историјско разматрање развоја технологије беспилотне летелице доводи до закључка да се заснива на принципу преношења команди радио сигналом, *дете* генија Николе Тесле. Никола Тесла је патентирао овај свој генијални проналазак под бројем 613.809. То је постало основа беспилотних летелица, позната као радио контрола (RC), на којој се заснива савремена роботика. Никола Тесла је први пут демонстрирао даљинско управљање кретањем возила крајем деветнаестог века. На језеру у Медисон Сквер Гардену, демонстрирао је даљинско управљање моделом брода са радио сигналом, 1898. године. Ово је прва таква примена радио таласа у историји, којом је Никола Тесла задужио свет, самим тим заслужио и велико признање. Тесла је својим изумом поставио темељ и указао на потенцијал за даљи развој беспилотних летелица, као и за друге напредне технологије.

Конкретнији приступи и развој БПЛ датирају од почетка двадесетог века, а тада су првенствено размишљали о њиховој примени на објекту као мети у ваздушном простору за обуку артиљеријских посада противваздушне одбране (ПВО). Развој беспилотних летелица настављен је током Првог светског рата. Dayton Wright авио-компанија је развила летеће торпедо, без пилота, које је унапред било подешено да експлодира у одређено време.

Значајан напредак уследио је после Првог и током Другог светског рата, у водећим армијама развијених земље. Нацистичка Немачка је производила и користила разне БПЛ у том периоду. У Другом светском рату војска је користила моделе летећих авиона за обуку оператера противваздушне артиљерије да прате покретне циљеве у ваздушном простору. Та вежба се свела на угаоно праћење мете у покрету, која лети у ваздуху, окретањем цеви оружја у видном пољу радио сигналом, 1898. Ово је коришћена аналогија да је угаона брзина ротације цеви оружја иста за случајеве кретања мете великом брзином при великим висинама и малој брзини на малој надморској висини. То је веродостојна вежба за усмеравање оружја за војника оператера на топу и тиме су се стекли основни услови за тај ниво обуке. Југословенски народна Војска је користила овај метод обуке својих посада артиљеријских батерија ПВО. После Другог светског рата, увођењем млазних мотора за погон авиона, почела је оперативна употреба БПЛ у војне сврхе. БПЛ су се широко користиле у Вијетнамском рату у задацима извиђања, ласерског обележавања циљева и навођења авиона са посадом до важнијих циљева.

Америчко ваздухопловство, забринуто због великих губитака пилота над непријатељском територијом, почело је 1959. да планира распоређивање и коришћење беспилотних летелица. Планирање је убрзано након што је Совјетски Савез избацио извиђачки авион У-2, 1960. године. Веома софистицирани развојни програм БПЛ, кодног назива Red Wagon, убрзо је покренут. Војни сукоб у Тончком заливу, августа 1964. године, између америчке и северновијетнамске морнарице, интензивирали су борбену употребу америчких дрона у Вијетнамском рату.

Када је Влада Кине показала фотографије оборених америчких дронава, Америка је остала без коментара. Међутим, касније, 1973. године, потврдили су да су користили БПЛ на југоистоку Азија (Вијетнам). Више од 5.000 америчких авијатичара погинуло је у том рату, а преко 1.000 је нестало или заробљено. 100. Стратешко извиђачко крило УСАФ-а је током тог рата извело 3.435 мисија дронава, изгубивши 554 јединице. Генерал Џорџ С. Браун, командант ваздухопловства, 1972.године изјавио је: *Једини разлог за коришћење БПЛ је да не желимо непотребно да ризикујемо животе људи у кабинама авиона.* Касније те године, генерал Џон Ц. Мејер, главни командант Стратешке ваздушне команде, рекао је: *Остављамо висок степен ризика за дроне, њихови губици су велики, али ми смо спремни да их поднесемо и тако спасимо животе пилота.*



Слика 3 лево. БПЛ Ryan 147, десно: Рајан Фајрби (енгл. Ryan Firebee) је један у низу развијених БПЛ; летео је 1951. године

У рату Јом Кипур 1973. Израел је користио беспилотне летелице као мамац да изазове непријатељске снаге да лансирају и сакупе што више противваздушних ракета. Након овог рата, неколико кључних чланова тима, који су развили ове ране јефтине БПЛ, придружило се малој компанији која је почела да их развија као комерцијални производ. То је постало основа за развој првог израелског војног БПЛ.



Слика 4. Први израелски тактички БПЛ Мадиран мастиф, лансиран 1975. године

Током рата 1973. године, совјетске ракетне батерије земља-ваздух у Египту и Сирији, нанеле су велике губитке израелским борбеним авионима. На основу тог искуства, Израел је развио први БПЛ са даљинским управљањем и пољем у реалном времену снимања. Фотографије и радарски подаци из ових БПЛ помогли су Израелу да у потпуности лоцира и касније неутралише сиријске ПВО, на почетку Либанског рата 1982. године.

У Израелу је 1987. године по први пут практично доказан концепт суперманеварске контроле лета после *прелома* подизања авиона (када је престала ефикасност репа). Ово је реализовано на основу примена напредних технологија тродимензионалне контроле вектора потиска погонског млазног мотора на БПЛ. Ово се остварује у веома захтевном истраживачко-развојном задатку. Прве генерације БПЛ су првенствено коришћене за обављање извиђачких задатака, а касније, после великог број мисија осматрања и искуства стеченог током агресије на СРЈ, америчко ратно ваздухопловство је опремљено дроновима предаторима МК-1 и наоружаним ракетама ваздух-земља.



Слика 5. Амерички предатор МК-1, лансира ракету ваздух-земља АГМ-114 Hellfire

Унапређењем и минијатуризацијом применљивих технологија крајем двадесетог века, расло је интересовање за БПЛ у врху америчке војске. Деведесетих година закључен је споразум о међусобној сарадњи са израелским компанијама ААИ и Malat. Америчка морнарица је купила All Pioneer БПЛ, развијена и произвођена од стране ААИ и Malat.



Слика 6 лево. Једна од многих реализованих конфигурација БПЛ; десно модел најпознатијег Европљана БПЛ Херо.

Многи од ових дрoнова стављени су у оперативну употребу у Заливском рату 1991. године. Показали су ефикасност и висок однос између цене извршеног задатка и њихових трошкова, не излажући ризику живота пилота. У 2012. америчко ваздухопловство имало је 7.494 БПЛ у оперативној употреби.

То је скоро трећина укупног броја летелица свих врста, америчког ваздухопловства. Тај број сваке године расте. Централна обавештајна агенција (САА) поседује БПЛ и користи их у својим оперативним задацима. UAV Neuron (стилизован као nEUROn) је европски експериментални БПЛ. Видљивост је смањена, на принципу аеродинамичке шеме *летећег крила*, слично познатом америчком В2 спирит бомбардеру. Носилац развоја ове летелице је француска компанија Marsel Daso.

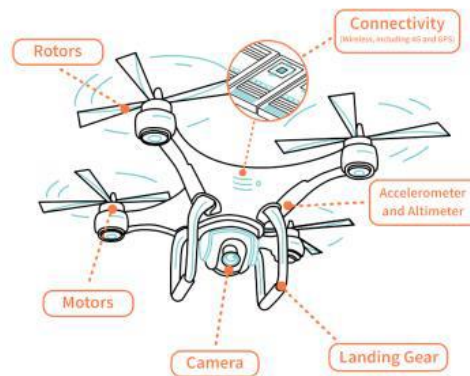


Слика 7 лево. Груманов БПЛ носи EO/IR и SAR сензоре, ласерски даљиномер, ласерски маркер и инфрацрвену (IR) камеру, десно: изложба америчких БПЛ-а 2005.

3 Основни делови беспилотне летелице

Беспилотне летелице контролишу се даљинским управљачем, могу се дати инструкције и снимати слике и видео записи. Састоји се од комбинације компоненти као што су дрон, пропелер, мотор, труп и контролна картица. Дрон је оквир (трупа), стајни трап, мотори, пропелери, Есц (електронски контролор брзине), контролор лета (лет Контролер-Аутопилот) и ГПС пријемник, даљински управљач и пријемник, систем за пренос слике (ФПВ), који се састоји од батерије.

Разлика у пројектовању дрона је у томе што дрон нема кокпит као што имају хеликоптер или авион. Дронови имају више од једног ротора на себи. За разлику од хеликоптера, број ротора се креће од 4 до 8. Дронови могу да обављају процес балансирања на хеликоптерима захваљујући везама ротора. Њихова највећа предност је у томе што то су беспилотне летелице.



Слика 8. Основни делови беспилотне летелице

На дрону се налазе разни сензори, који издају команде лета на основу прикупљених података. Магнетометар, жирокоп и акцелерометар сигнализирају вектор правца, стабилност и убрзање информације. Да би могли да узлете и слете на жељеном нивоу, да извршите аутономан лет, мотори креирају различите режиме рада према одређеном алгоритму.

3.1 Материјал конструкције дрона

☼ Беспилотне летелице од фибергласа

Комплет за дрон од фибергласа се углавном користи у малим и средњим беспилотним летелицама. У поређењу са металним материјалима, композитни материјали од фибергласа су лакши по тежини.



Слика 9. Летелица од фибергласа

☼ Алуминијумски оквир за дрон

Међу металним материјалима, легуре алуминијума су релативно ниске цене и лагане, испуњавају захтеве мале тежине, а оквир од легуре алуминијума је склон деформацији савијања када је подвргнут спољним силама које ће изазвати нестабилност у лету.



Слика 10. Летелица од алуминијумски оквир

☼ Инжењерски пластични комплет за дрон

Инжењерска пластика је лагани материјал који је погоднији за производњу оквира малих дронова, али заправо отпор ваздуха се јасно осећа током лета.



Слика 11. Летелица од пластике

☼ Оквир дрона од карбонских влакана

Композитне материјале од карбонских влакана преферирају многи произвођачи беспилотних летелица због својих одличних механичких својстава и предности смањења тежине. Примена угљеничних влакана композитни материјали за оквир могу смањити тежину.

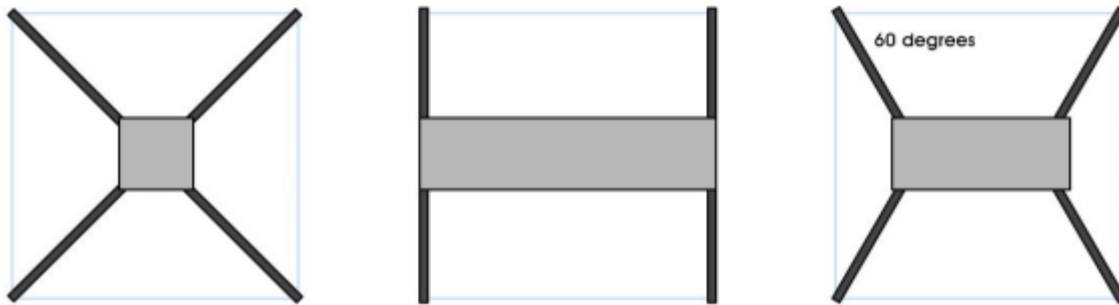


Слика 12. Летелица од карбонских влакана

3.2 Типови тела дрона

☼ Квадрокоптер

То је најпопуларнији коришћени тип дрона. Два мотора се крећу у смеру казаљке на сату, а друга два мотора у супротном смеру. Ово ресетује угаони момент дрона. Има структуру погодну за многе профите у контроли лета. Квадрокоптери имају три различита модела.



Слика 13. Квадрокоптер

☼ X тело

Лакше га је направити самостално него купити готов производ. Његове руке су дуже због мање величине тела у поређењу са другим врстама квадрокоптера.



Слика 14. X тело

☼ H Тело

Међу квадрокоптерим постоји велика разноликост. Због велике површине носивости можемо користити батерије, опрему за пренос слике, комуникационе системе, компјутер за летење и камеру. Најважнија предност H трупа: омогућава камери да буде директно на средњем телу, а не на стајном трапу.



Слика 15. Н тело

☞ Хибрид X тело

Подешавање руку на 60 степени омогућава да се тело скрати за 60% у поређењу са телом X. Под претпоставком да су обоје направљени од истог материјала, има тело које је 60% лакше од X. У поређењу са X телом исте величине, његове руке су 16% краће. Камера се налази унутар X тела.



Слика 16. Хибрид X тело

Дронови се користе у већини делова цивилног и војног ваздухопловства. Здравствени сектор, пољопривреда и узгој, сектор фотографије и биоскопа, мапирање, терет, саобраћај и безбедност могу се навести као примери коришћених области дрона.

3.3 ТРУП – беспилотне летелице

Примарна разлика у изгледу кабине између пилотираног авиона и исте шеме БПЛ је 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. Квадратор због својих предности у широкој примени постепено потискује остале концепцијске шеме пројеката БПЛ.

Такође, постоји и са осам погонских комплета. БПЛ су летеће платформе које су способне да ефикасно и временски дуго аутономно лете бежичном комуникацијом. Могу дуго да лебде у месту, без промене положаја, да надгледају околинду 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. Бежични примопредајници користе сигнале послате микрокомандама на управљачке јединице квадратора. Акцелерометар, жirosкоп 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 разлику од класичних летелица, квадратор може да постигне и стабилно дуго одржи вертикални лет и лебдење без промене висине.



Слика 17. Тело беспилотне летелице

Није оптерећен потребом за конструктивним решавањем компезације 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 јефтиније 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 квадратора за различите амбициозније намене, реализујући их и у већим димензијама. То исто важи и за БПЛ са двоструко већим бројем мотора са роторима (осам). Струковне групације, као што су војска, инжењери, истраживачи и хобисти шире лепезу намене квадратора у многим областима. Сходно томе, покренут је велики број пројеката. Томе доприносе велике могућности прилођавања квадратора за испуњавање различитих, а често и опречних тактичко - техничких захтева. У том погледу предњаче 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, релативне брзине и до 110 км/ч . То је једноставан и веома практичан концепт, који има перспективу масовније примене код пројектовања БПЛ. Он не захтева полетно - слетну стазу за своју примену, исто као и квадратор.

3.4 Погон

Од погонске групе већински зависе перформансе дрона. При избору погонске групе треба обратити пажњу на намену саме летелице, јер је она одлучујући фактор за њен избор. На пример, за одређене војне дроне су потребни значајно јачи мотори који не морају да буду лаки и да испуњавају захтеве очувања екологије, иако би се и ова два захтева требала испунити.

Одабир саме погонске групе није лак посао, јер не постоји савршен избор. Правилан одабир подразумева компромис. Јако је важно тачно знати захтеве и њихову важност да би се знало где се могу направити већа одступања од идеала. Такође, да би ово имало смисла, морају се добро познавати различите врсте погонских група, као и њихове карактеристике.

У остатку овог рада ћемо погледати разне типове погонских група који се користе за дроне, њихове карактеристике и начин одабира погонске групе. Циљ нам је да створимо јасну слику опција којима располажемо и начином како њима да управљамо.

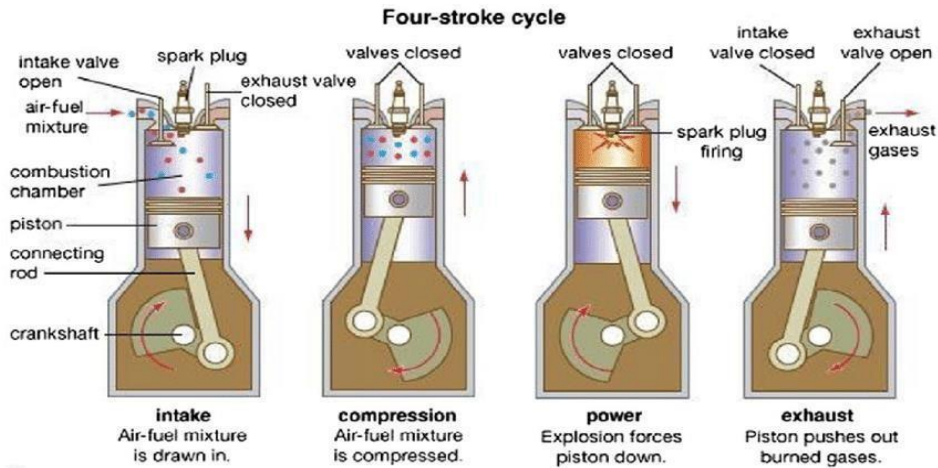
3.4.1 Врсте погона у вазухопловству

У вазухопловству се користе клипни, ракетни, електрични, Ванкел и млазни мотори.

✂ Клипни мотори

Клипни мотори су један од најстаријих типова мотора и при својој појави су револуционализирали свет. Енергија је могла да се користи са минималним губицима, а питања која данас умањују вредност клипног мотора, као што је питање одржања животне средине, нису била постављана.

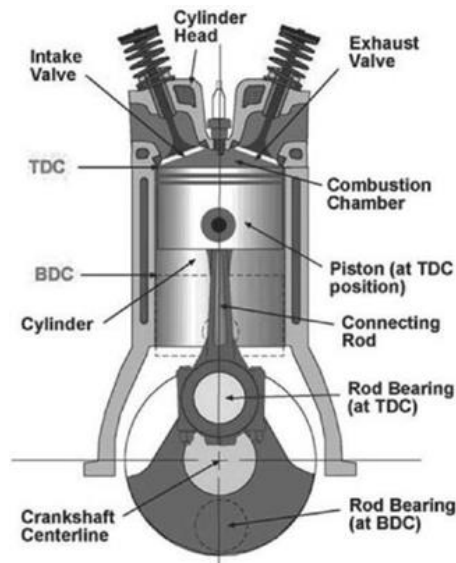
Клипни мотори се састоје од цилиндра унутар кога се налази клип који је клипњачом повезан за радилицу, која покреће пропелер. Унутар цилиндра, са горње стране клипа, налазе се усисни и издувни вентили. Усисни вентили су повезани на доток горива и ваздуха, а издувни вентил са издувним системом. Између ових вентила у унутрашњости цилиндра је свећица чија је улога да пали смешу ваздуха и горива.



Слика 18. Тактови клипног мотора

Постоје двотактни и четворотактни клипни мотори.

Код четворотактних мотора у првом такту се усисава смеша ваздуха и горива. У другом такту клип се помера навише и ову смешу сабија. Као последица овог сабијања јавља се и раст температуре, што ову смешу припрема за следећи такт. Трећи такт почиње бацањем варнице од стране свећице, пали смешу ваздуха и горива и гура клип наниже. Ово је радни такт клипног мотора, односно он ствара енергију која може да се користи. Четврти такт подразумева кретање клипа навише што за последицу има потискивање издувних гасова из клипа у издувни систем.

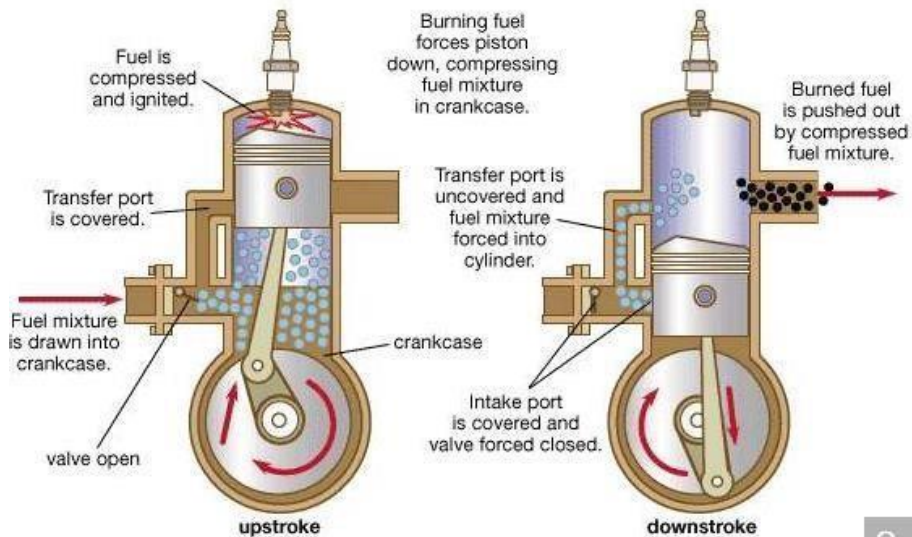


Слика 19. Пресек цилиндра клипног мотора

Код двотактних мотора први и четврти такт се дешавају истовремено, као и трећи и други. Овим се губи на ефикасности мотора.

Овај тип мотора користи се скоро свуда око нас. Можемо га наћи у аутомобилима, генераторима струје, авионима.

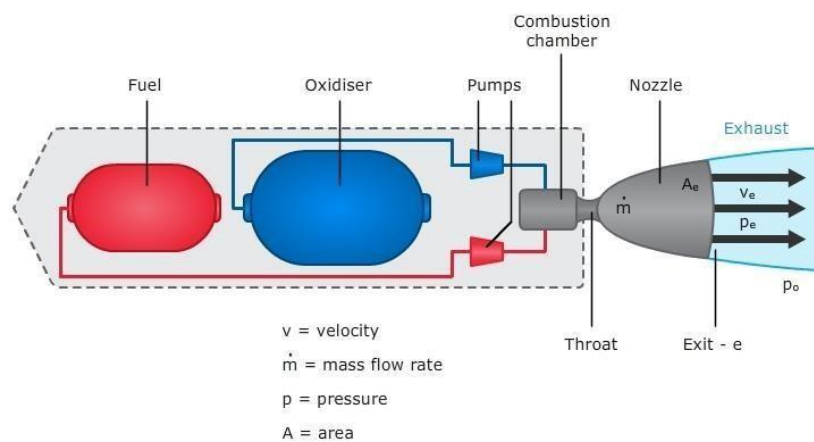
У ваздухопловству се, такође, налазе свуда: у авионима, аеродромској опреми (тракорима за вучу, ватрогасним колима, земаљским агрегатима) и у другим уређајима и опреми која се користи у ваздухопловству.



Слика 20. Пресек цилиндра клиног мотора

✂ Ракетни мотори

Постоје два основна типа ракетних мотора. То су ракетни мотори са течним горивом и ракетни мотори са чврстим горивом. Код ракетних мотора са течним горивом, гориво се пре сагоревања меша са оксидационим агенсом. Гориво се чува у резервоарима који се налазе изнад самог мотора.



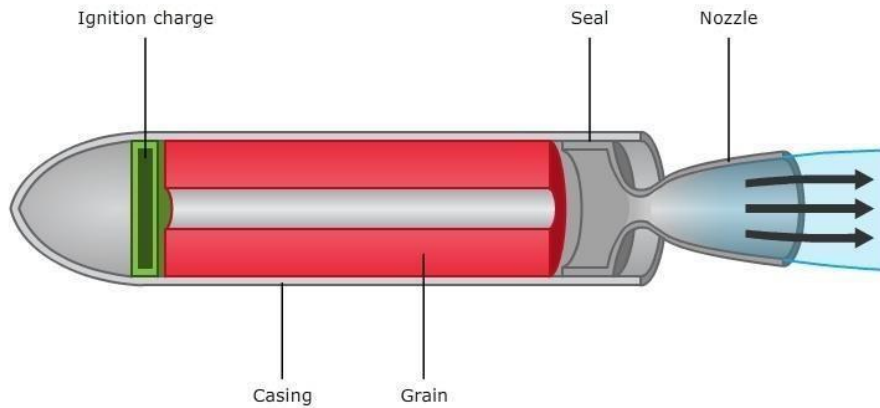
$$\text{Thrust} = F = \dot{m} v_e + (p_e - p_o) A_e$$

Слика 21. Структура ракетног мотора

Цевоводом су ови резервоари повезани са комором за сагоревање. Комора за сагоревање је направљена тако да се гориво што ефикасније меша са оксидационим агенсом.

Оксидациони агенс мора бити присутан код ракетних мотора, јер се јако велика количина горива сагорева у веома кратком року, те ваздух из спољашње средине није довољан да би се одржала ова реакција. Гориво и оксидациони агенс се у комори за сагоревање убризгавају помоћу две пумпе које покреће турбина. Ова турбина добија енергију за свој рад од дела сагореле масе која се избацује из издувника.

Отвори су у могућности да створе огромне количине потиска за релативно кратко време. Њихове мане су кратко време рада, изузетно високе цене њихове производње и коришћења, често неупотребљивост након једног коришћења.

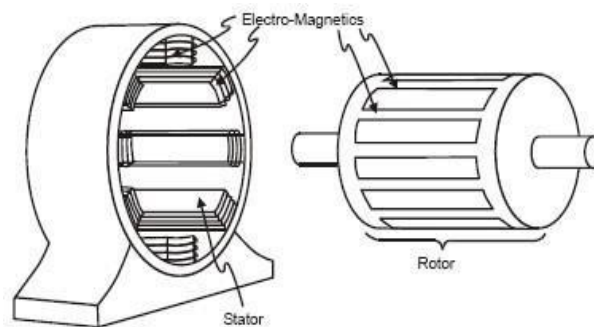


Слика 22. Принцип рада ракетног мотора

Код чврстих ракетних мотора гориво и оксидујући агенс се мешају пре прављања самог мотора. Ови мотори су значајно једноставнији и за њихов рад је потребан само систем за паљење мотора. Имају још краће време рада од оних са течним горивом. Њих је након стартовања немогуће зауставити, док се код претходног типа може прекинути доток горива или агенса. Ракетни мотори се примарно користе за лансирање ракета и њихово маневрисање у космосу. Поред овога, ови мотори имају и огромну примену у војној индустрији, за производњу пројектила и ракетног оружја. У ваздухопловству се ови мотори могу користити и као додатни извор потиска за полетање са јако кратких полетно слетних стаза.

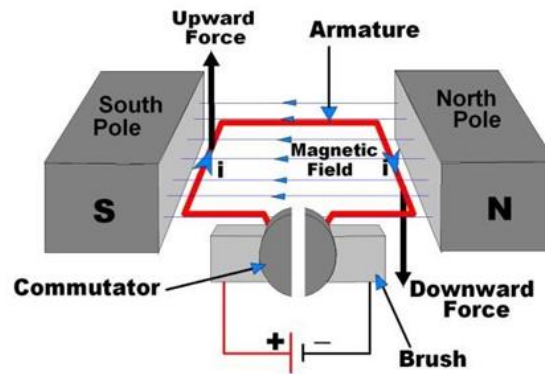
⌘ Електрични мотори

Електрични мотори су уређаји који електричну енергију претварају у механичку користећи се принципом електричне индукције. Они се примарно састоје од ротора и статора.



Слика 23. Статор и ротор

Кроз једну од ове две компоненте пролази електрична енергија, а друга је стални магнет. При проласку електричне енергије кроз проводник ствара се магнетно поље. Управо кретање магнетних поља унутар електричног мотора проузрокује његово ротирање односно рад. Постоје два основна типа електричних мотора који се користе. Мотори који користе директну (једносмерни) и мотори који користе наизменичну струју.



Слика 24. Дијаграм мотора директне струје

Мотори са директном струјом се напајају из извора као што су батерије или конвертери из наизменичне у директну струју. Ротор ових мотора је арматура, а статор је трајни магнет. Они се праве са четкицама и комутаторима. Ове две компоненте се троше временом и након одређеног периода морају да се мењају, што није јефтин процес. Овај тип мотора је мање ефикасан у претварању електричне енергије у механичку од електричних мотора који раде на наизменичну струју. Брзина ових мотора се контролише мењањем протока струје кроз навоје. За покретање мотора са директном струјом није потреба никакав механизам. Сви мотори на директну струју су монофазни.

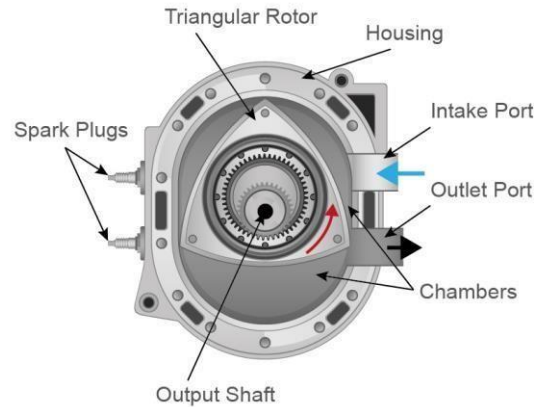
Код мотора на наизменичну струју ротор је стални магнет, а електрично поље се индукује у навојима. Струја која пролази кроз ове навоје може бити или трофазна или монофазна. За контролу брзине рада овог мотора довољно је само променити фреквенцију струје која пролази кроз мотор. Ови мотори се могу једноставно и јефтино поправљати и не захтевају много одржавања, јер у самом мотору готово да не долази до хабања компоненти, што је случај са моторима на директну струју.

Електромотори за многе представљају будућност, с обзиром да је загађење животне средине значајно мање са њима него са моторима на унутрашње сагоревање. Главни проблем код коришћења ових мотора су батерије. Технологија чувања електричне енергије све више напредује и настају све ефикасније батерије. Стога је будућност ових мотора у многим сферама живота, као и у ваздухопловству, готово извесна.

Мотори овог типа се користе за многе ствари у ваздухопловству. На пример, стартовање мотора, покретање командних површина, кретање возила која се користе унутар зграда, примарни мотор на одређеним ваздухопловима.

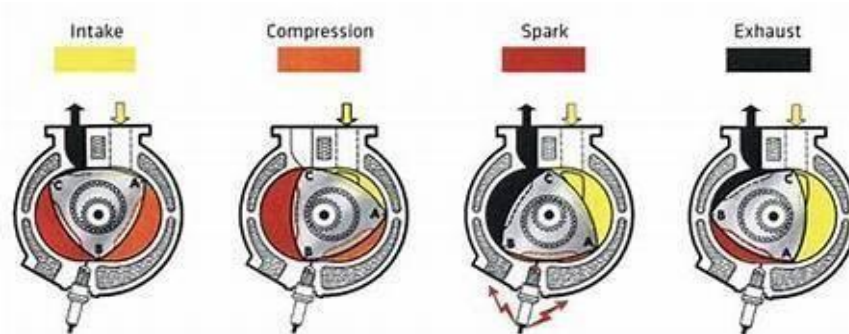
☼ Ванкел мотори

Овај тип мотора је састоји од следећих основних компоненти: предња и задња преграда, преграда за ротор, ротор и гуме за изолацију, радилице, свећице и отвори за убризгавање горива и ваздуха и отвор за издувне гасове. Овај мотор функционише на истим принципима као и клипни мотор, али се тактови остварују другачије. Једини покретни делови овог мотора су ротор и радилица.



Слика 25. Ванкел мотор

Стога је могуће достићи много веће брзине рада мотора, него што је то случај код клипних мотора, код којих многе компоненте морају бити синхронизоване да би се обезбедио њихов рад. Из истог разлога се значајно смањују и вибрације током његовог рада. Мане ових мотора су непоуздане изолационе гумице, које се често кваре што проузрокује тешко паљење мотора, непотпуну компресију и сагоревање. Да би се осигурало добро заптивање ових гумица потребно је да се у мотор непрестано доводи мазиво, што доводи до загађења животне средине и велике потрошње мазива. У случају да нема довољно мазива, мотор ће да „зариба“.



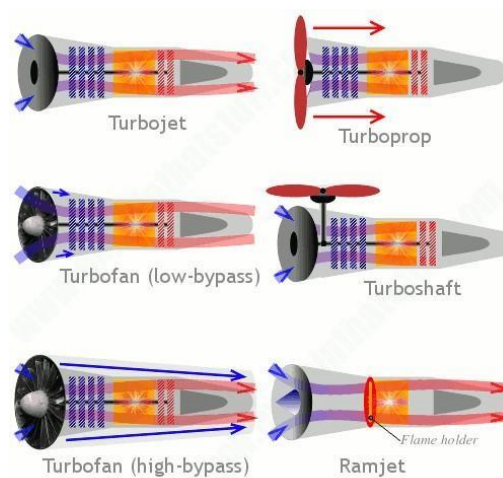
Слика 26. Циклуси рада ванкел мотора

Ови мотори су својом појавом направили праву пометњу у свету ваздухопловства. НАСА је нарочито била заинтересована за истраживање мотора овог типа, јер је имао фантастичан однос тежине и снаге и готово да није производио вибрације. У време када се појавио, његова ефикасност је била далеко већа од бензинских или дизел мотора. Временом, због проблема које овај тип мотора има у већини случајева, његова производња је значајно опала, али се и даље користе и то најчешће код беспилотних летилица.

✂ Млазни мотори

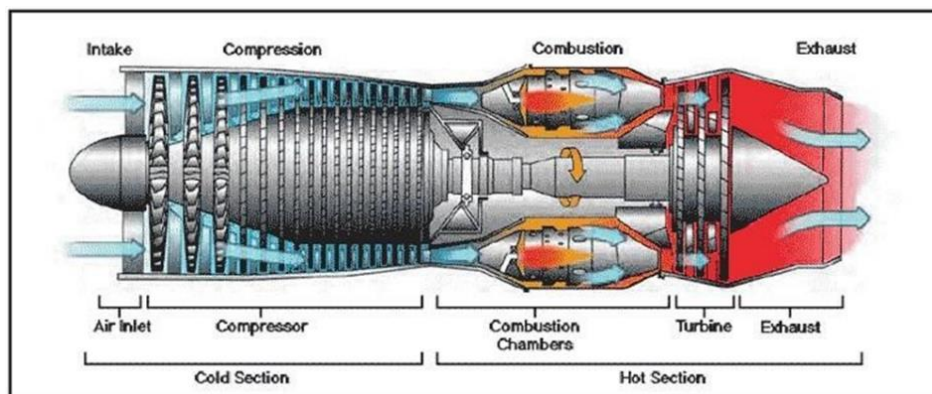
Последњи тип авиона који ћемо размотати је уједно и најбитнији мотор за модерно ваздухопловство, а то је млазни мотор. Постоје многи подтипови млазних мотора, као што су:

- ✂ Турбомлазни
- ✂ Турбоелисни
- ✂ Турбофенски
- ✂ Рамџет
- ✂ Сличне подваријанте наведених



Слика 27. Циклуси рада ванкел мотора

Код ових мотора ваздух пролази кроз усисник и улази у компресор ниског притиска који сабија ваздух и спроводи га до компресора високог притиска који га додатно сабија и самим тим му подиже температуру. Овакав ваздух се доводи у комору за сагоревање где му се додаје гориво. Ова смеша се пали. Паљење доводи до ширења те смеше гасова те покреће турбине високог и ниског притиска које су повезане на компресоре високог и ниског притиска. Након тога ови гасови напуштају мотор кроз издувник.



Слика 28. Делови млазног мотора

Овај тип мотора користи се код свих већих модерних путничих авиона, скоро свих војних авиона, одређених беспилотних летелица, па чак и код дронава средњих величина.

3.4.2 Врсте погона дронава

У ваздухопловству је, поред безбедности, економичност један од најбитнијих фактора о којима се води рачуна. Она се најчешће постиже смањивањем тежине ваздухоплова, подразумевајући да је ваздухоплов већ аеродинамички добро направљен.

Проблем тежине је нарочито изражен код дронава. Они морају да имају што мању масу, а што већи капацитет дизања и снагу.

При избору погона за дрон мора се обратити пажња на његов жељени домет. За велике домете није могуће користити електричне моторе, јер још увек немамо батерије довољно великог капацитета, а довољно мале масе и запремине да би се искористиле. Стога ће се, у овом случају, искористити неки од других типова мотора, на пример Ванкел мотор.

⌘ Клипни мотори

Клипни мотори се користе за веће дронаве и беспилотне летелице. Ово су мотори са једним или са два цилиндра. Тежина им варира од једног до пар килограма и снаге су до 25kW.



Слика 29. Клипни мотори код беспилотних ваздухоплова

⌘ Рактни мотори

Ракетни мотори због своје цене и начина рада нису нашли примену у дронавима.

⌘ Електрични мотори

Када неко помисли на дрон, скоро сваки пут је то дрон са електричним погоним. Они имају аутономију од пар минута до мало више од пола сата. Не загађују животну околину, тихи су и лаки, те су примарни избор за 90% дрона у употреби. Због своје тежине се могу користити на местима где се налазе људи, иако су нови безбедности системи потребни. Најчешће су то једносмерни мотори и једносмерни мотори без четкица, иако се могу видети и мотори са наизменичним напајањем.



Слика 30. Електрични мотори

⌘ Ванкел мотори

Ванкел мотори су јако повољни за коришћење код великих дрона због своје мале масе и велике снаге. Такође, проблеми због којих овај мотор није заживео су се значајно смањили. Тежине ових мотора варирају од 5-10 килограма, са снагом од око 22 киловата.

Слика 31. Ванкел мотор



⌘ Млазни мотори

Млазни мотори се користе код многих војних беспилотних летелица, али се ретко користе за дроне. Ипак, постоје и ови случајеви. Такви дрони су прави тешкаши по свим питањима. Њихове масе и снаге су значајно веће од својих конкурената. Сва ова снага има за резултат велике брзине и плафоне лета. Могу подићи и до 18 килограма терета, а мотори им стварају снагу до 150kW.

Да би се правилно изабрао тип погонске групе, потребно је тачно дефинисати захтеве које ће дрон морати да испуни. Како не постоји савршена погонска група, компромис је неизбежан, стога је јако битно, поред дефинисања захтева, сложити их по важности.

Након тога, потребно је одредити опсег цена у коме може да се нађе наш дрон, као и најбољи представници разних типова мотора. Следећи корак је упоређивање перформанси и особина погонске групе са нашом листом захтева. Она погонска група која испуњава највише најбитнијих захтева, представља најбољи избор за тај дрон.

Питања на која морамо дати одговор:

- ⌘ Која је највећа дозвољена маса погонске групе?
- ⌘ Који је минимални однос снаге и масе погонске групе?
- ⌘ Колика је маса дрона без погонске групе?
- ⌘ Колику носивост мора да има дрон као целина?
- ⌘ Које захтеве по питању заштите животне средине мора да испуни дрон?
- ⌘ Које захтеве по питању буке мора да испуни дрон?
- ⌘ Колика мора да му буде максимална брзина и колико мора да буде управљив?



Слика 32. Млазни мотор

Одабир погонске групе може да се чини као компликован посао, поготово због броја опција које нам се представљају, али пратећи једноставне кораке могуће је за кратко време правилно одредити коју погонску групу одабрати. Пожељно је имати и што веће познавање различитих врста мотора, стога је увек корисно додатно истражити особине погонских група које су ушле у ужи избор, као и поузданост произвођача од кога се она набавља.

3.5 Врсте погонске материје (горива) БПЛ

3.5.1 Основне особине горива

Сваки дрон, с обзиром на оно за шта се користи, захтева посебан погонски систем. Већим летелицама је потребно више енергије да би остале у ваздуху и зато се користе јаче батерије.

- ⌘ Литијум-полимер батерије;
- ⌘ Литијум-полимер батерије (*LiPo* батерије) су врста батерија које се данас користе у многим електронским уређајима.
- ⌘ Разлике између *LiPo* батерија и никл-кадмијумских и никл-метал-хидридних батерија су:

	LiPo батерија:	NiMH батерије:
Предности:	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ много мања тежина и може да се направи у готово било којој величини или облику; ⌘ много већи капацитет, што им омогућава да имају много већу снагу; ⌘ много веће стопе пражњења . 	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ дужи животни век од <i>LiPo</i>а, обично 1000 циклуса; ⌘ много мање осетљив и обично не представља ризик од пожара; ⌘ једноставнији пуњачи и рутине потребне за коришћење .
Мане:	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ много краћи животни век, просек <i>LiPo</i> батерије је само 150-250 циклуса; ⌘ осетљива хемија може довести до експлозије; ⌘ потребна посебна пажња у току пуњења, пражњења и складиштења. 	<ul style="list-style-type: none"> ⌘ много су теже, и имају ограничену величину; ⌘ нижи просечни капацитет и мања ефикасност; ⌘ Ниже стопе пражњења.

LiPo батерије се користе за дроне због своје тежине и способности да се направе у различитим облицима и величинама, њихове високе капацитивности, енергије и могућности да се допуњавају. Проблем је у томе што могу бити опасне, јер су способне да се запале ако се не користе како треба.



Слика 33. Батерија

3.5.2 Хидрогенске горивне ћелије

Хидрогенска горивна ћелија претвара хемијску енергију водоника у електричну енергију. Водоник сам није извор енергије. Мора се држати у одговарајућем контејнеру док не буде спреман да се користи у горивним ћелијама за производњу струје.

Када се водоник комбинује са кисеоником унутар горивне ћелије и добијена вода се уклони, ћелија за гориво може да генерише струју. Водоник је веома тежак за руковање – мора се одвојити од других елемената, пресовати и складиштити у стабилном окружењу или може да експлодира. Још једна карактеристика водоничних горивних ћелија је да укључују значајну количину топлоте. С обзиром да је пластика доминантна компонента већине дрона, појава топлоте би могла истопити неке делове дрона.

Погодности водоничних ћелија:

- ⌘ водоник је чист извор енергије - безбојан, без мириса и неотрован гас, цео производ је вода;
- ⌘ водоник је најчешћи ресурс на Земљи;
- ⌘ ћелије водоника имају већу густину енергије у батеријама и омогућавају дуже време лета;
- ⌘ водоник се брзо допуњава горивом,
- ⌘ дрона на водоник функционишу на ниским температурама;
- ⌘ BVLOS летови су остварљиви са дронама на водоник.

3.5.3 Соларна енергија као погонско гориво

Многе компаније беспилотних летелица раде на повећању њиховог времена у ваздуху. Иако се то може постићи додавањем батерија, њихова тежина и простор су често контрапродуктивни. Развој технологије соларне енергије учинио је фотонапонску (PV) технологију могућом алтернативом за напајање UAV-а, летелица и других беспилотних летелица.

Дрона генерално немају довољно места да сместе соларне панеле. Они су мање ефикасни у стварању силе узгона него летелице са фиксним крилима, што значи да повећање величине дрона представља значајан пројектантски изазов.



Слика 34. Соларни панели на ваздухоплову

3.5.4 Типови горивних ћелија и начин одабира

За сада, за најбоље врсте погона сматрају се следеће:

Батерије

Однос између капацитета батерије E_{batt} и тежине m_{batt} може се израчунати из eq. (1) користећи специфицирану енергију ϵ_s :

$$E_{batt} = \epsilon_s \cdot m_{batt} \cdot \eta_{DOD}$$

Где се специфична енергија односи на хемијски састав батерије и η_{DOD} , (дубина пражњења батерије) утиче на њено трајање.

3.5.5 Хибридни систем горивних ћелија

Хибридни систем се карактерише помоћу степена хибридизације β_{batt} (Eq. (2)). Ово је релативно просечна расподела енергије између ћелије за гориво и батерије. Креће се од 0 до 1, где је 0 само напајање горива, а 1 је само батерија.

$$\beta_{Batt} = P_{batt} P_{FC} + P_{batt}$$

Укупна енергија хибридног система горивних ћелија EFCHS је збир ефективне енергије која је доступна из FC система и хибридне батерије:

$$EFCHS = E_{FC} + E_{h.batt}$$

Маса хибридног система горивних ћелија mFCHS укључује масу склопа горивних ћелија, електронски контролисаних mFC, хибридну батерију mh.batt и цилиндар за водоник са регулатором и цревима mH₂. Маса водоника је само око 5% масе ваздухоплова и то се може исказати:

$$mFCHS = m_{FC} + m_{H_2} + m_{h.batt}$$

Да би се добио реално поређење извора енергије, важно је укључити чиниоце повезане са системом. Тежинске и енергетске спецификације система горивних ћелија регулисане су нечим што је комерцијално доступно.

3.5.6 Водонична енергија

Ефективна електрична енергија из система за гориво EFC зависи од ефикасности горивне ћелије и количине ускладиштеног водоника. Као функција притиска и волумена цилиндара, она је:

$$EFC(p, V_{cyl}) = \rho_{H_2}(p) \cdot V_{cyl} \cdot h_{H_2} \cdot \eta_{FC} \cdot \eta_{H_2}$$

где густина водоника ρ_{H_2} и запремина цилиндра V_{cyl} даје масу водоника. Специфична енталпија водоника у доњој вредности горења (LHV) је $h_{H_2} = 33.6 \text{ Wh} \cdot \text{g}^{-1}$. Множењем овога са масом водоника добија се теоретска енергија коју систем има. Ефикасност горивних ћелија η_{FC} је у складу са напоном ћелија и може се претпоставити да је 50%. Последњи фактор је фактор утрошка горива η_{H_2} који претпоставља чињеницу да се не користи сав водоник у хемијској реакцији, а његова типична вредност је око 0,95.

Запремина цилиндара и повезана маса дају се комерцијално доступним опцијама. Низ цилиндара класе IV, летелице од угљеничних влакана са полимером, предвиђени за 300 бара су наведени у табели 1. Спецификације могу да се разликују између различитих произвођача, а доступно је и више лакших цилиндара. Међутим, ови фактори могу имати мање безбедносне факторе и ограничен број циклуса попуњавања.

Својства табеле 1 за серију лак цилиндара IV класе из CTS-a. Предвиђени су за складиштење водоника до 300 бара у складу са EN 12245. Ефикасност горивних ћелија од 50% претпоставља се по енергетским проценама.

Запремина Volume [L]	Тежина Цилиндра Cylinder Mass [kg]	H ₂ mass [g]	Стопа складиштења Storage effect [%]	Енергија Energy [Wh]	Специфична енергија Specific Energy [Wh · kg ⁻¹
2.0	1.2	41.7	3.5	700	584
3.0	1.4	62.5	4.5	1050	750
6.0	2.5	125.0	5.0	2101	840
6.8	2.7	141.7	5.2	2381	882
7.2	2.8	150.0	5.4	2521	900
9.0	3.8	187.6	4.9	3151	829

3.5.7 Хибридна батерија

Енергетски капацитет хибридне батерије је у зависности од примарног извора напајања и енергије у систему горивних ћелија, а може се израчунати према:

$$E_{h.batt}(EFC) = \frac{\beta_{batt} \cdot EFC + (t_{emc} \cdot PFCHS)}{1 - \beta_{batt}}$$

где се резерве напајања рачунају из просечне потрошње струје PFCHS и времена потребног за хитно слетање. Изменом Eq. (1), тежина хибридне батерије $m_{h.batt}$ може се израчунати у складу са:

$$m_{h.batt} = \frac{E_h}{\epsilon S \cdot \eta DOD}$$

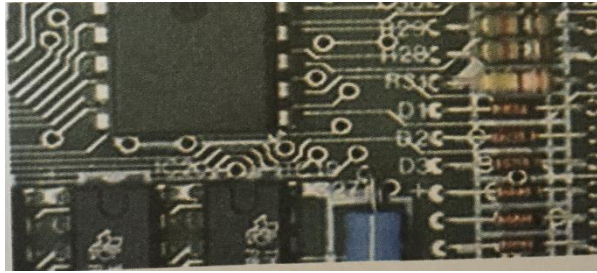
Дозвољена величина пражњења мора се тачно размотрити да би се осигурало да потребна енергија буде доступна. Такође, израчуната енергија и маса су минималне вредности. У пракси, мора бити изабрана комерцијално доступна опција која може да обезбеди потребну енергију и снагу (брзина пражњења). Eq. (8) се може користити за конвертовање за дефиницију m_{Ah} батерије која се највише користи. U_{nom} је номинални напон батерије:

$$C_{mAh} = \frac{E_h}{\eta DOD \cdot U_{nom}} \cdot 10^3$$

3.6 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.



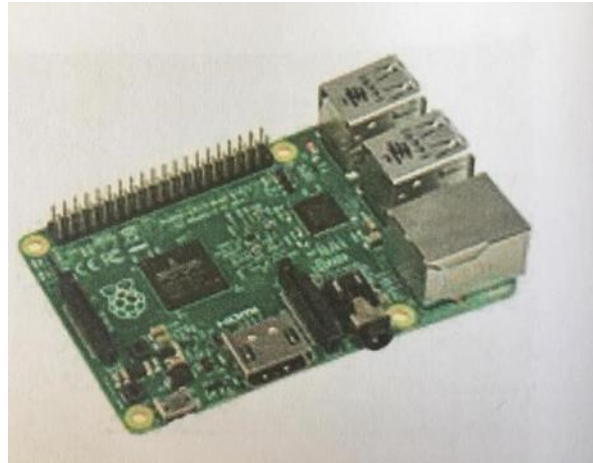
Слика 35. Део штампане плоче рачунара

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 компонената 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 неупоредиво 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.

Јачи 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 36. Овај систем на чипу (SOC) не укључује никакво складиштење 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.

3.6.1 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 жироскопи 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).



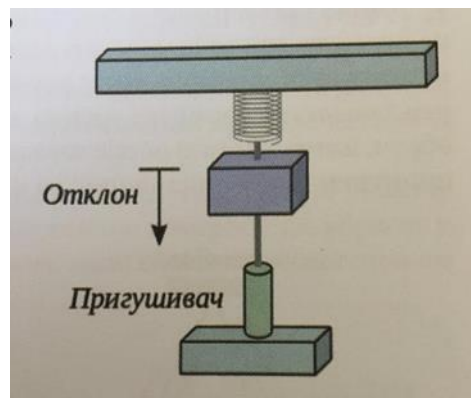
Слика 37. Поглед на слободу кретања дуж и ротације око три осе авиона

Давачи положаја и кретања пружају информације о стању летелице. Спољни сензори намењени су да дају податке о спољним информацијама попут мерења растојања, интензитета светлости, амплитуда звука, док унутрашњи 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.

3.6.2 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 38. Шематски приказ основног принципа рада механичког акцелерометра

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 регистрију 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.

3.6.3 Жироскоп

Два су основна типа жироскопа:

- ⌘ Механички
- ⌘ Оптички (ласерски) жироскоп

Примена:

- ⌘ Мерач угаоне брзине;
- ⌘ Давач за одржавање правца кретања.



Слика 39. лево: принцип рада механичког жироскопа са карданским механизмом, са три слободна прстена; десно: принцип одзива механизма жироскопа на спољашњу принуду

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.

Измерени ниво тог момента супротстављања закретању правца осовине у пропорционалном је односу са нивом 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 микрочиповима који се налазе у електронским уређајима, затим ласерски жироскоп са активним прстеном, фибер-оптички жироскопи и изузетно осетљиви квантни жироскопи.



Слика 40. Принцип рада жироскопа са ласерским радом

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

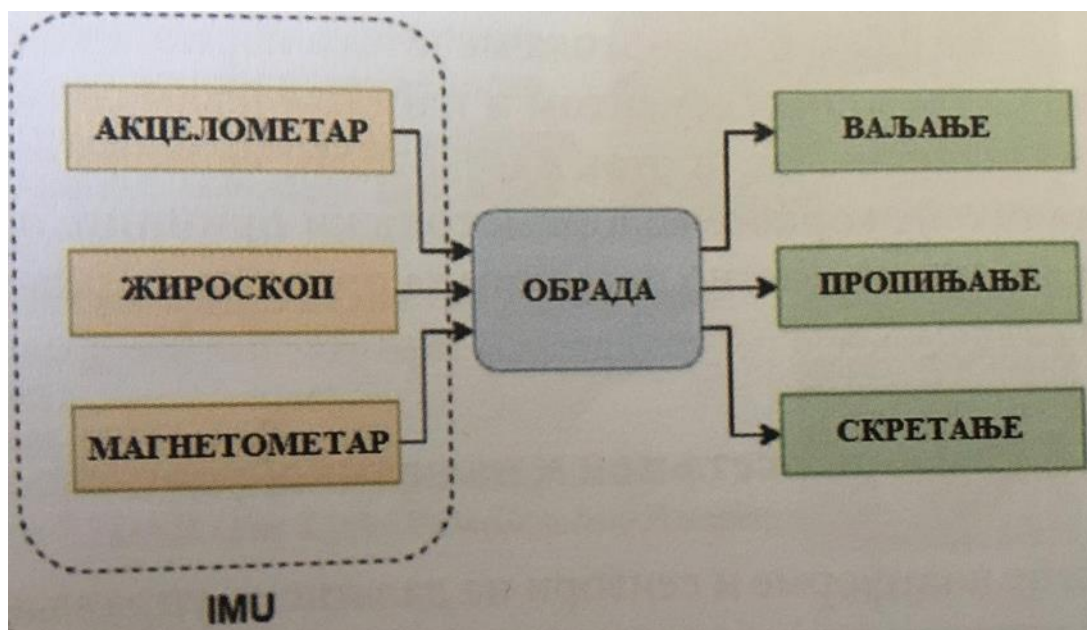
Инерцијални навигациони систем (ИНС) користи податке угаоне брзине и убрзања у функцији израчунавања релативног положаја током времена. Будући да ИНС пружа релативан положај у односу на почетно стање, процесом интеграције брзо губи почетне вредности односно своју стварну позицију у односу на спољно референтно 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.

3.6.4 Интеграција сензора у фузији 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 41. 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 измене 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 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 користе калориметријски принцип, али у микро скали, што их чини изузетно погодним за примене у условима приоритетног смањења масе.

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



Слика 42. Класификација даљинских сензора

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 40. слици шематски је приказан преглед група активних и пасивних даљинских сензора различитих таласних дужина, а на 73. слици 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 (eng Light Detection And Ranging)

Сателитске слике Мапа земљишта

Сентинел-2

Слика 43. Опите информације о сензорима за снимање сцена на великим удаљеностима

3.6.6 Радар SAR

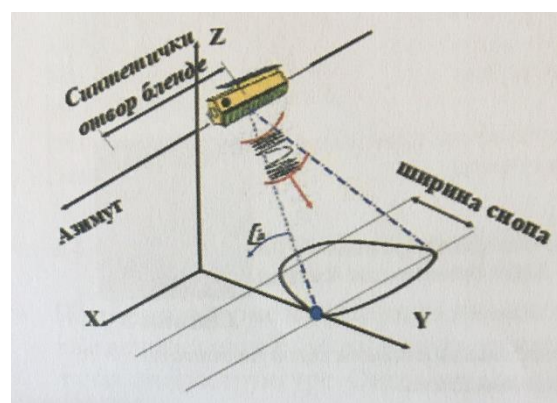
Радар са синтетичким отвором бленде (енгл. Synthetic Aperture Radar SAR) којим се вештачки постиже повећан ефекат у односу на могућност стандарне фазираних антенске решетке. Користи се за стварање дводимензионалних слика, а тродимензионалне се добијају из реконструкцијом објеката, као што су грађевине 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 фазираним 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 одједи 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 могуће физичком антеном са стварним отвором бленде. Од 2010. године, системи из ваздушног простора пружају резолуцију од око 10 цм, а ултраширокопојасни системи дају резолуције од неколико милиметара.

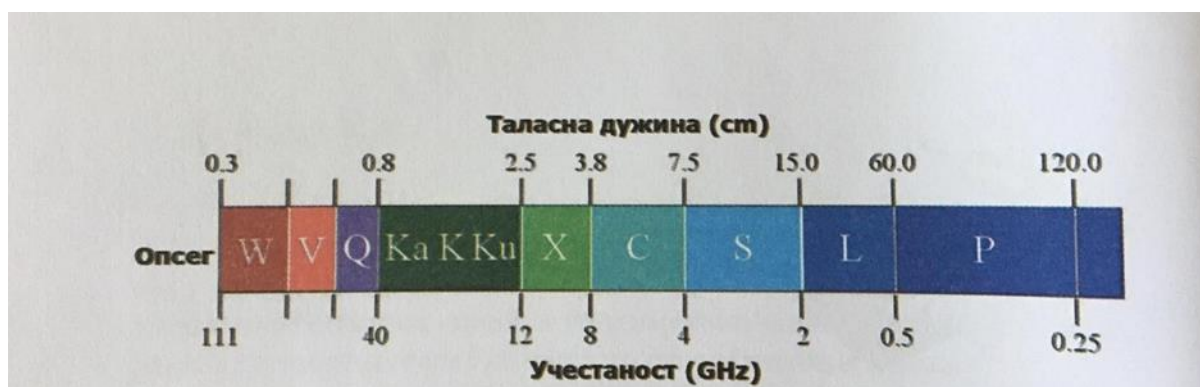


Слика 44. Ефекат и услови рада SAR-а



Слика 45. Шема SAR-а при слању радио таласног импулса до циља, осветли га, ехо сваког пулс прима и снима

Пошто је SAR активни сензор и користи микроталасни опсег у широком радио-спектру (слика 77), он има могућност снимања дању и ноћу са великом способношћу продора. До извесне мере може да снима и по киши (слика 78). 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.

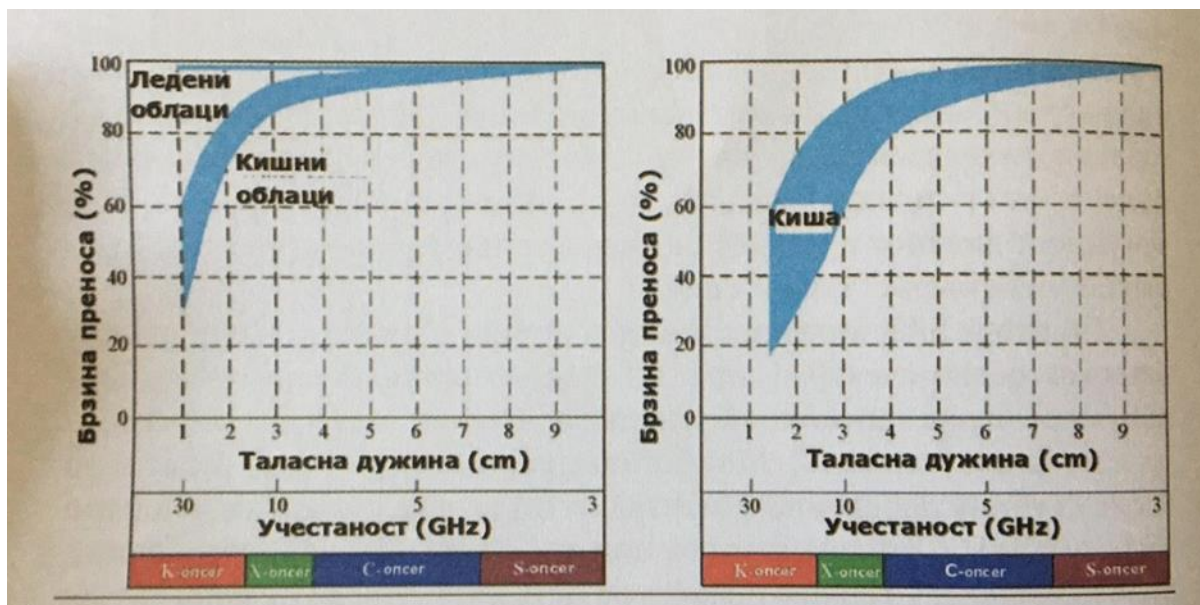


Слика 46. Активни SAR сензор користи микроталасни опсег у широком радио спектру

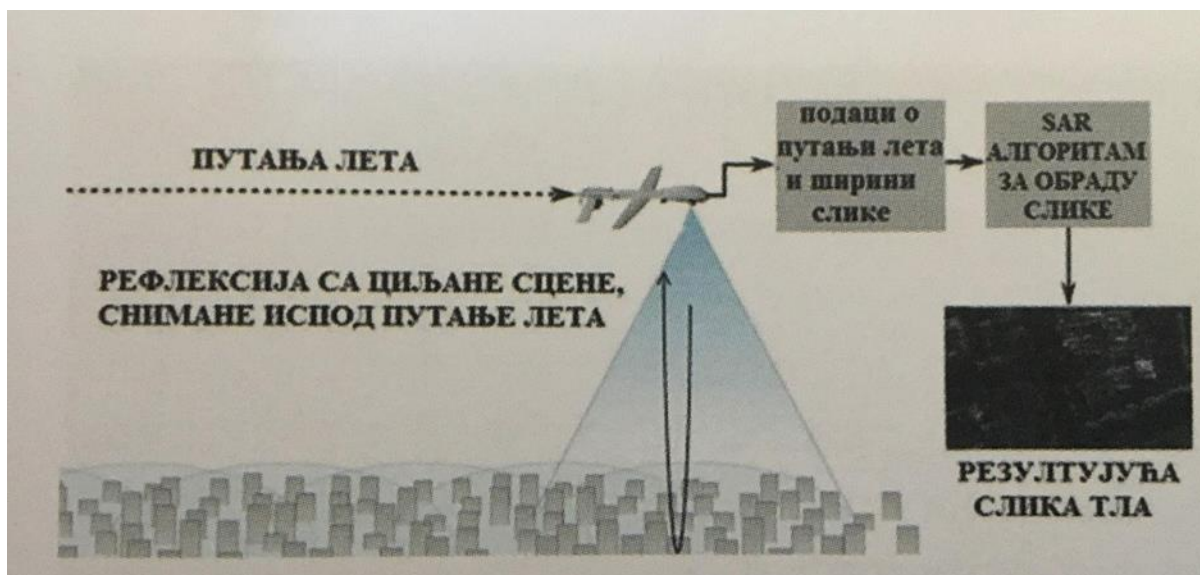
SAR се користи на беспилоним летелицама за дуготрајно осматрање из ваздушног простора. То је ефикасно у типичним мисијама које временски дуго трају. Често се SAR примењује у условима отежаних временских дешавања, војног надгледања и осматрања околине.

Слике добијене SAR-ом имају широку примену у даљинском управљању летом БПЛ и мапирању површине тла. SAR се користи у топографији, океанографији, геологији (за дискриминацију терена и снимање дубинских садржаја земље и грађевинских објеката), као и у шумарству (укључујући висину, биомасу и крчење). За праћење активности вулкана и земљотреса користи се диференцијална интерферометрија. SAR се 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 преносе узастопно, одједи 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.



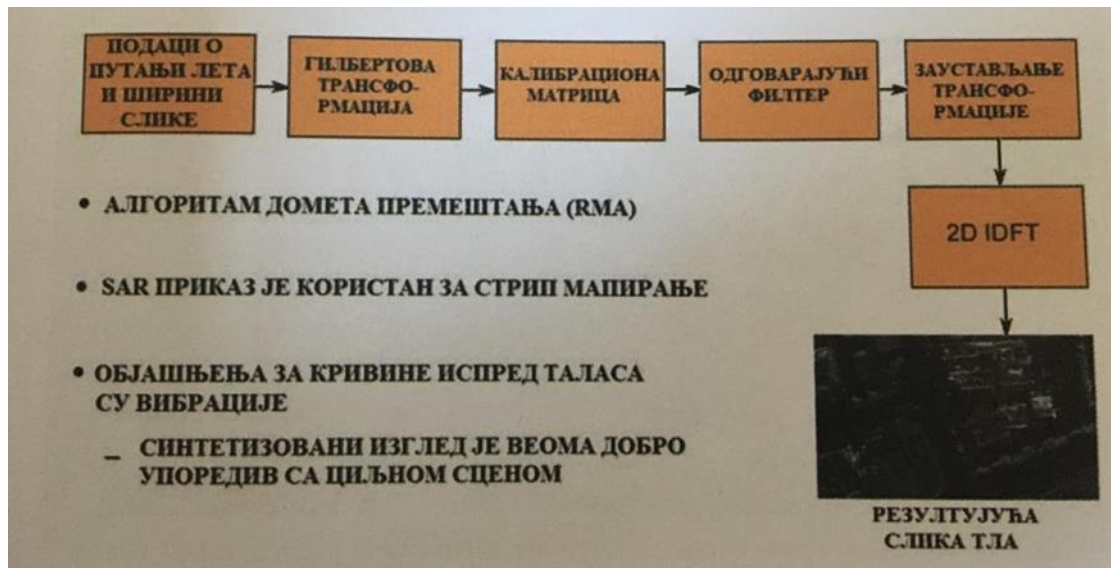
Слика 47. SAR снима дању и ноћу, а може и по киши



Слика 48. БПЛ са SAR лети изнад земље у тренутку снимања

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 (ЗД) 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 80).



Слика 49. Блок дијаграм SAR функције у обради слике циљне сцене. Може се користити више основних линија за проширење ЗД снимања у временској димензији.

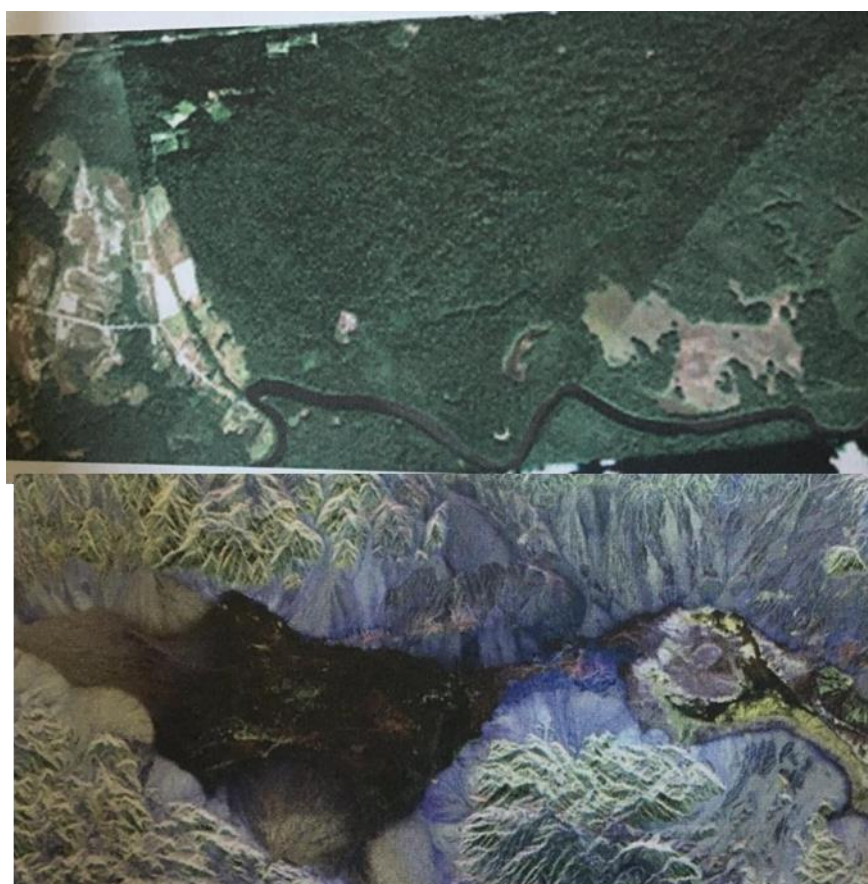
Више базних линија може се користити за проширење ЗД снимања у димензији времена.

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 м/с. 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 км. Подаци се обрађују у летелици и преносе као некомпримоване слике (8 bpp) или компримоване (2 bpp). За компресију се користе алгоритми (енгл. Joint photographic Expert Group, JPEG). Слике 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, VAAS) сегментирани су. Подаци (енгл. moving target tracking and recording mode, GMTI) се преносе 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 пресликавања трака. Мапирање без обзира се дешава преко унапред одређене средишње линије сцене, на кретање летелице.



Слика 50. Слика је резултат SAR снимања у X-опсегу

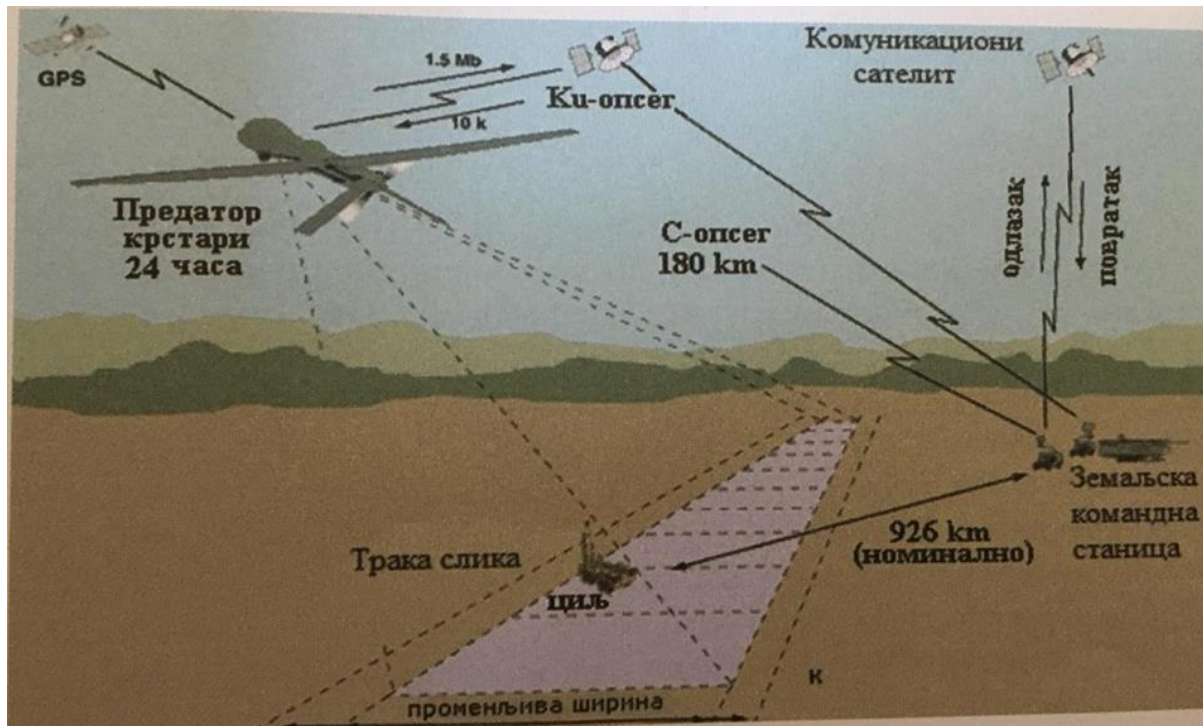


Слика 51. Подручје истраживања је у Параку, Француској, Гвајани, што је важно експериментално место за тропске кишне шуме;

Долина смрти, снимљена од стране SAR-а помоћу полариметрије

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 м/с, ширина траке слика износи 800 метара. При брзинама већим од 35 м/с, 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 52. Систем мапирања и преноса до командне станице са БПЛ Предатором

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 м x 800 м) за коришћење на командној станици. Сlike се континуално снимају на (енгл. Digital Linear Tape, DTL) тракама. Подсистем функционише аутономно, извршавајући низ команди за унапред планиране мисије које су учитане 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 SAR-ова малих БПЛ, важно је имати на уму да погон летелице мора енергетски напајати обоје.



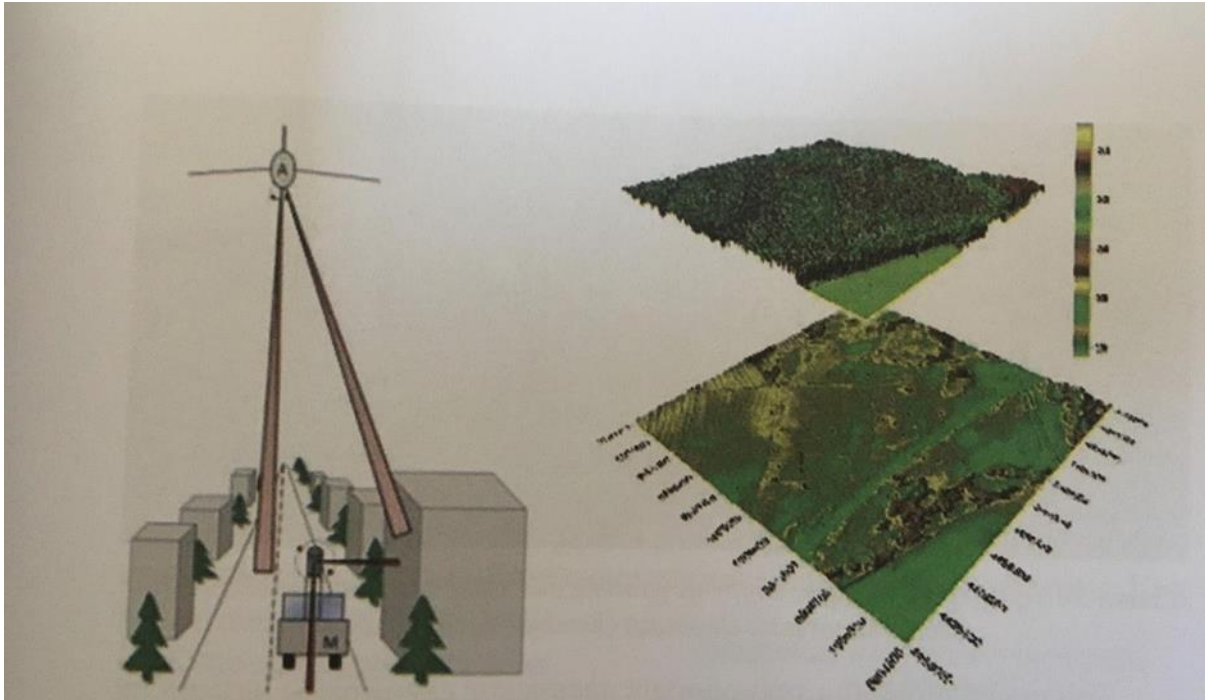
Слика 53. Систем светла

3.6.7 Систем Lidar

Систем (енгл. Light Detection and Ranging, LIDAR), детекцијом у своме домету, 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 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 помоћ сензора. 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.



Слика 54. лево: илустрација скенирања LIDAR системом из ваздушног простора; десно: дигитални приказ евидентиран терен са јасним знаком врста и облика вегетације

Систем LIDAR имплементира снимање великог броја тачака са великом прецизношћу и брзином (до 500.000 тачака у секунди). Тачност ласерских тачака креће се (+/-) 10 цм 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 55. Слика обрађена дигитално у 3Д, висина дрвећа је чиста

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.



Слика 56. Пример ЗД модела, површине око 1000 м дужине и око 100 м широке, око железничке пруге (Кокемаки, Финска)

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

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

3.6.8 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 ограниченња 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.

3.6.9 Навигациони систем

Излаз 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 57. Анти-колизиона светла

3.6.10 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 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) 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
- ⌘ 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 рачуна 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: жirosкопа, 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) намењен је за мерење параметара навигације објекта у простору, користећи сензоре, а њихове испоручене податке обрађује рачунар. Промене вектора стања летелице у простору, детектују се мерењем транслаторног кретања акцелерометрима, а ротације жirosкопима.



Слика 58. Инерцијални навигациони систем

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 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 трансляције (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 транслаторном 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 свде се на минимум. За инерцијални навигациони систем, везани су појмови: инерцијална референтна платформа (слика 40), инерцијални инструмент и инерцијална мерна јединица.



Слика 59. Инерцијални инструмент и инерцијална мерна јединица и инерцијални облици

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:

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

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 транслаторна 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 .

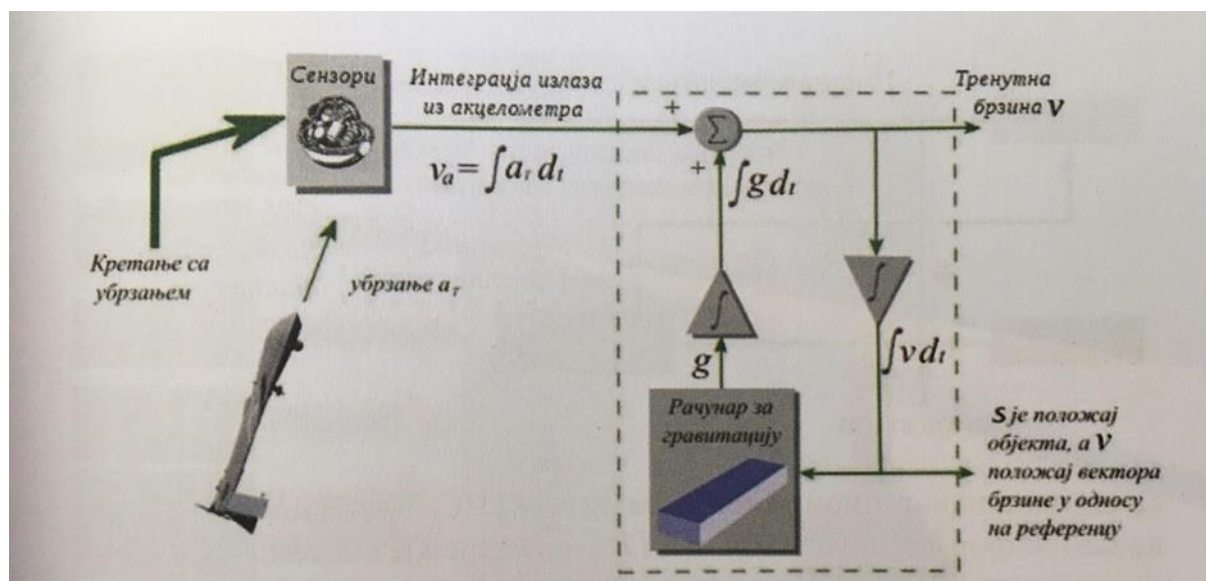
Једноставан прорачун положаја и брзине летелице заснива се на једначинама разлика првог реда које имају облик:

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

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

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 м, а у брзини од 0,2 м/с за период лета од 35 минута, користећи временски корак интеграције од две секунде. Поредећи то са типичном грешком акцелерометра, грешка од рачунарског алгоритма је мања за неколико редова величина.



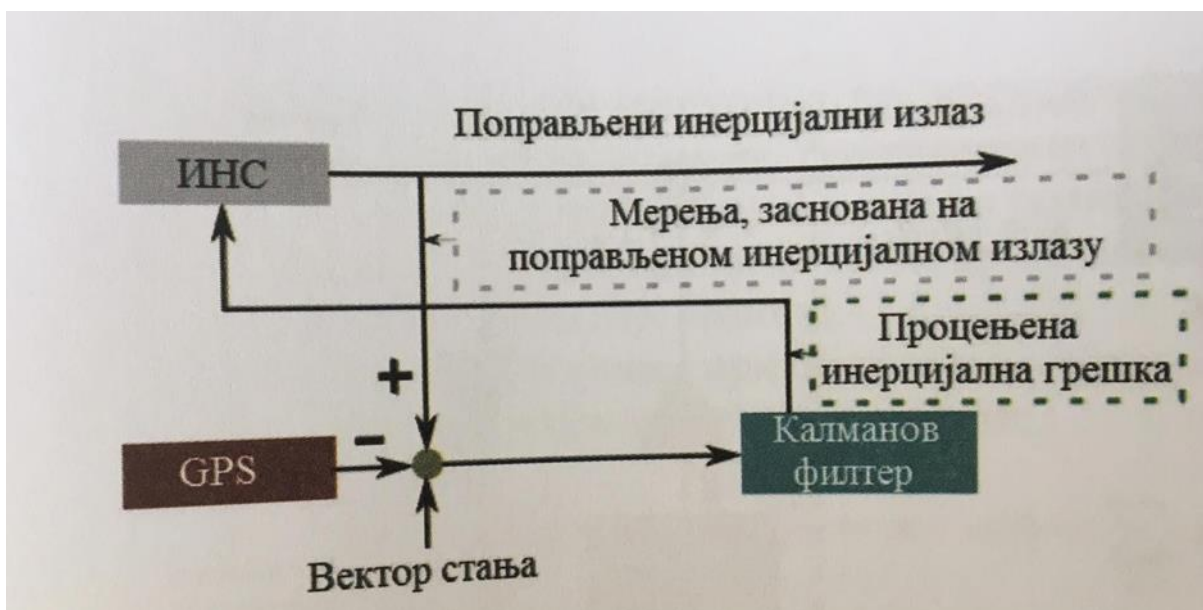
Слика 60. Шематски приказан принцип функције ИНС

Сви инерцијални навигациони системи склони су уношењу одступања од тачних резултата. Мале грешке у мерењу убрзања и угаоне брзине, интегришу се у прогресивно увећавање грешке параметара навигације. Примењени принцип одређивања новог положаја у односу на претходни, рачунато у корацима мерења и са прорачунима на основу тренутно пристиглог сигнала о трансаторном убрзању и угаоној брзини, у односу на све три осе координатног система, стално додаје системску грешку у коначан резултат.

Грешке се увећавају кумулативно у односу на почетно стање, по истој стопи као што се обнавља процес мерења и прорачуна. Због ове карактеристике неопходно је приказани положај повремено кориговати са референтним податком са неког другог система навигације, најчешће са ГПС-а. Одступање од тачног положаја објекта, са навигацијом са ИНС-ом, у резултујућем износу је просечно мање у пређеном путу од 1,1 км, а у промени правца десетак степени за сат рада система.

Сходно томе, инерцијални навигациони систем обично се користи у комбинацији са неким другим системом, обезбеђујући тако виши степен тачности него што је то могуће уз коришћење било ког система самостално. На пример, ако је у теренској употреби инерцијално праћена брзина, повремено је ажурирана на нулу са заустављањем објекта кретања (на тлу), позиција ће остати прецизна за дуже време. Често се користи та такозвана нулта брзина ажурирања.

Теорија опште контроле, посебно Калманово филтрирање, обезбеђује теоријски оквир за комбиновање информација од сензора разних врста. Један од најчешћих алтернативних сензора је глобални сателитски навигациони систем као што је ГПС. Правилним комбиновањем информације из ИНС-а и ГПС-а добијен је систем ГПС/ИНС којим се елиминише 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.



Слика 61. ИНС шема са спрегом унапред у петљи са ГПС и Калман филтером

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. Изузетно је 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 жироскопа 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 62. За систем осветљења дрон Т300

3.7 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.



Слика 63. Интеграција система летења БПЛ и њихова међусобна размена информација

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:

- ☞ Отворена шема даје директни управљачки сигнал (за брже, спорије кретање, 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.

Ови режими управљања се користе на свима врстама БПЛ. 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 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 64. Глобална шема управљања дроном

При ручном начину управљања (RC) пилот у потпуности управља беспилотном летелицом диктирајући положаје управљачких површина преко палице (џојстика), што резултира 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.

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 (џојстика), 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 65. Типична шема БПЛ контроле лета аутопилота

Поврх тога веома је 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 радиовођења (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 други који сачивају њихову широку листу. Главни допринос у прорачуну параметара лета и даље су жирокопи 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 углова нагиба око његових оса, услед те ротације летелице.

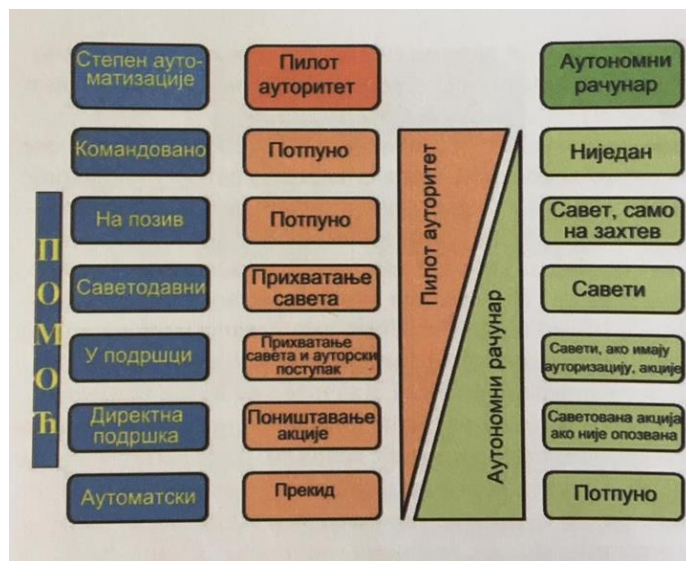
Беспилотна летелица шеме хеликоптера користи репни ротор да би спречила активни утицај обртног момента главног ротора на реактивно ротирање целе летелице.

Активним моментом ротације ротора генерише се реактивни, који се преноси и принудно делује на ротирање целог тела хеликоптера. Све то одлично функционише кад се усагласи уравнотежење, али и даље може бити проблем, посебно за пилоте почетнике.



Слика 66. Летна посада БПЛ у заједничкој бази, Ирак 20 Април 2005. године

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. Механички жироскопи су замењени чврстим микро-електро-механичким системима, жирокопима - микроконтролорима (енгл. Micro Electro-Mechanical Systems, MEMS). Микроконтролори су ушли у масовну употребу и омогућили су развој напредних пројеката.



Слика 67. Степени аутономије БПЛ

3.8 Аутономија лета

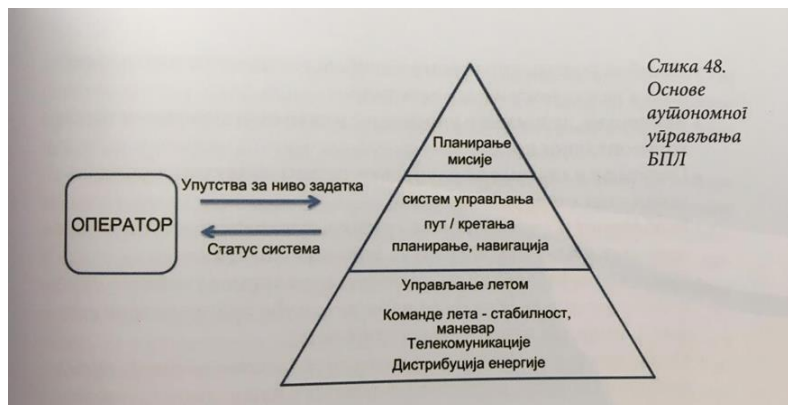
Системи за мерење стања летелице примају и обрађују снимљене сигнале од сензора и успостављају њихову фузију посебним алгоритмима ради бржег и континуираног постизања жељеног режима лета. То је кључни задатак за ефикасност формираних управљачких шема са одговарајућим петљама аутономног управљања. Специјална агенција UN (енгл. International Civil Aviation Organization, ICAO) сврстала 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 импулси чак откуцавају 32.000 пута у секунди, док 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.



Слика 48.
Основе
аутономног
управљања
БПЛ

Слика 68. Основе аутономног управљања БПЛ

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;
- ✂ Ппосебан 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 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);
- ✂ Придржавањем процедуре одржава се релативна позиција на објекту, користећи сателитску навигацију, препознавање слике или матични сигнал;
- ✂ ГПС навигација, провером контролних тачака на трајекторији лета: употреба сателитске навигације за навигацију до средње локације на путу трајекторијом;
- ✂ Орбита око објекта летелица непрекидно кружи око циља;
- ✂ Унапред програмиране летачке фигуре, као што су ваљање и петље.

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

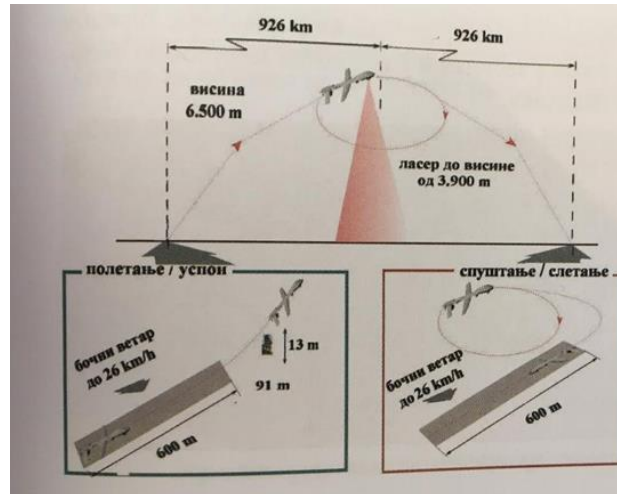
Савременије верзије могу имати уграђене команде лета са даљинским управљањем и помоћне системе аутоматизације за помоћ пилоту у управљању у радњама нижег нивоа као што су одржавање брзине, стабилизација на путањи и одређене функције навигације за задату трајекторију. Овако софистициране системе погрешно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

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 опције 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 омогућава 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.

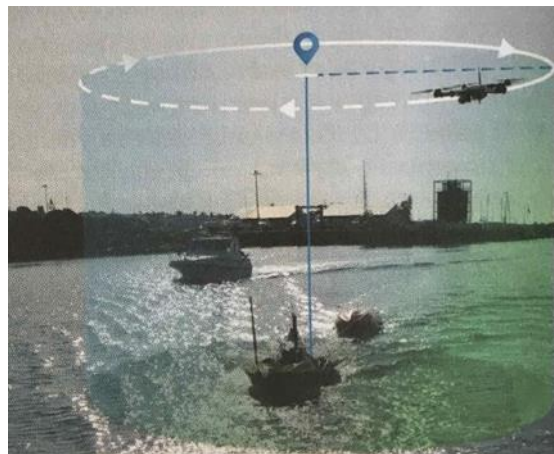
Понекад се током операције са унапред подешеном путањом може појавити допунски конкретни интерес за неку измену на основу нових прикупљених текућих информација и непланираних потреба. У том тренутку систем може упозорити на ту могућност и предложити да се пређе на управљање камером у режиму вођења по 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. 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 69. Лауд систем за дрон

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.



Слика 70. Котрљајући аутопилот

Фузија и интегрисање информација сензора, аутоматски се комбинују добијени подаци, 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 71. Контрола даљинског надзора

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 задатој 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.

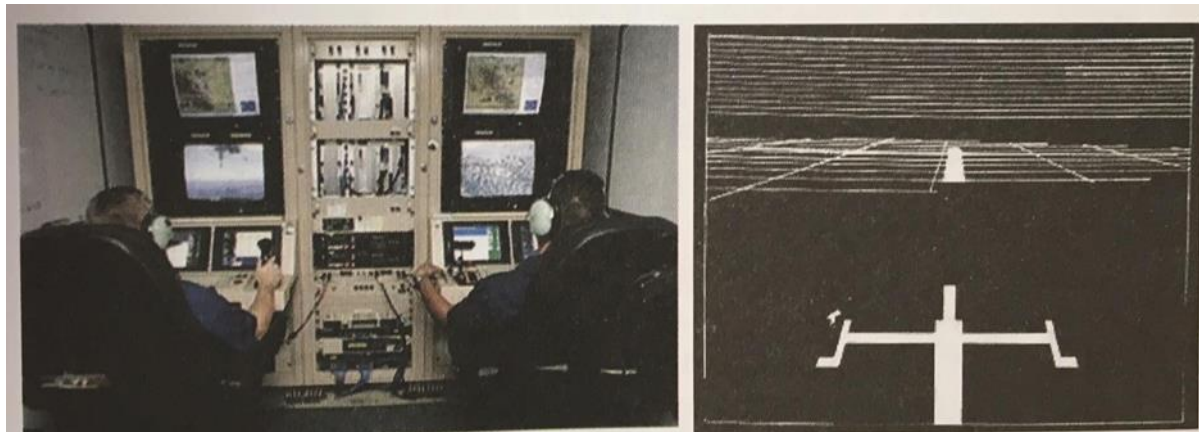
Здružена тактика је избор оптималних тактичких секвенци и просторног распореда активности међу учесницима са циљем повећања укупне ефикасности и резултата у оквиру целе мисије.

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.

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 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 на програму ХиМАТ почетком осамдесетих година прошлог века. Увођењем аутономије лета БПЛ атопилотом вишег технолошког нивоа, знатно се смањује обим



коришћења вештачке визије.

Слика 72. лево: контролна станица БПЛ; десно: са екранима и даљинском синтетичком кабином авиона ХиМАТ

3.9 Истраживачко-развојни пројекат БПЛ за аутомни 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 корисницима.

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 (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. Импресивни резултати су већ постигнути, а многе БПЛ мање или више већ су аутономне, користе разне сценарија режима самосталног лета.

Са становишта, пројекта аутопилота, БПЛ представља велики изазов. Веома је сложен мултидисциплинарни процес који обухвата дисциплине од пројекта хардвера, сензора, мерења, програмирања умрежавања 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). 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: $[u, v, w, p, q, r, \Theta, \varphi, \beta_1c, \beta_1s]$, где су u, v, w компоненте 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).



Слика 73. шема аутономног лета

3.10 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 стабилизују. На овим стабилним узгонским површинама постављене су обртне површине команди лета за управљање око све три осе координатног система. 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. 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.



Слика 74. Осе управљања

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.

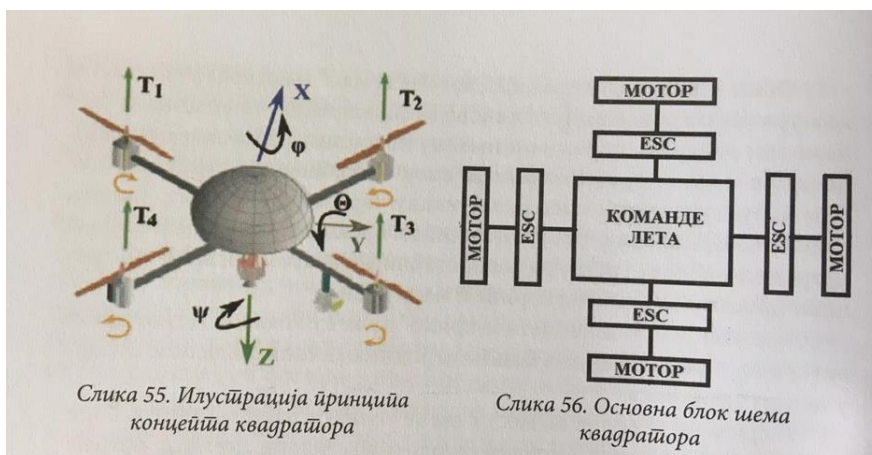
Скривени усисник на месту где се уграђује кабина пилота, спречава да топлотни инфрацрвени (топлотни) сензори *не виде* загрејаност делова мотора и структуре око њега, са предње стране кроз усисни канал БПЛ.

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 нанокомпозити. 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 нанокомпозита. Подразумева се да ће та технологија бити примењена и на напредним БПЛ.

3.11 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 јефтиних уређаја широке потрошње.

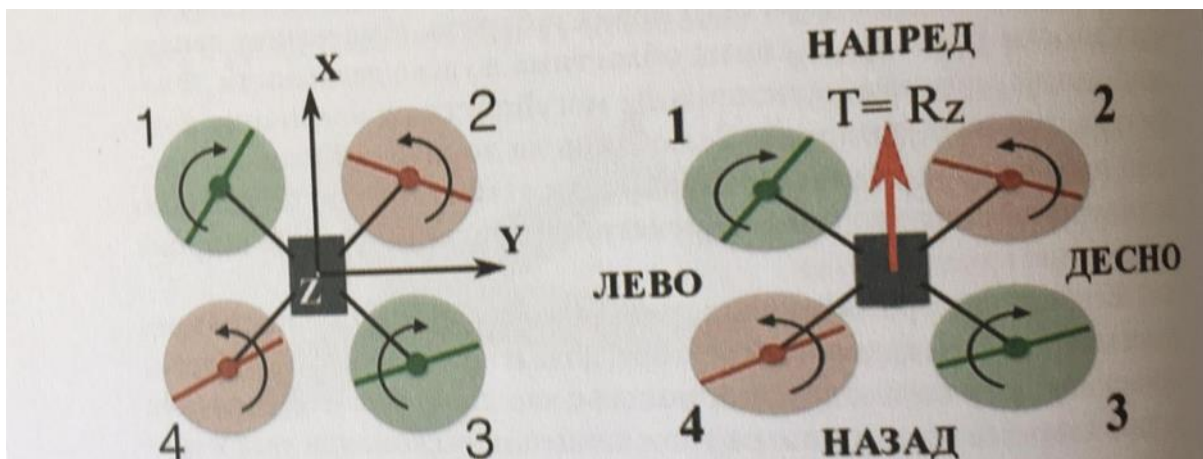
Код конфигурације квадратора обезбеђене су могућности кретања напред, назад, десно, лево, горе, доле и временски дуго лебдење, према сигналу који корисник пошаље као своју жељу. Те захтевне радње извршавају се одговарајућом концепцијом команди лета и системом стабилизације, преко програмираних међусобних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



Слика 75. Алгоритми за контролу лета

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

Четири мотора са роторима, симетрично распоређена по ободу оквира тела (трupa) погоне квадрокоптер. 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. 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, пренетог на тело летелице. Код класичног хеликоптера тај момент се поништава мањим репним ротором.



Слика 76. Смерови кретања БПЛ

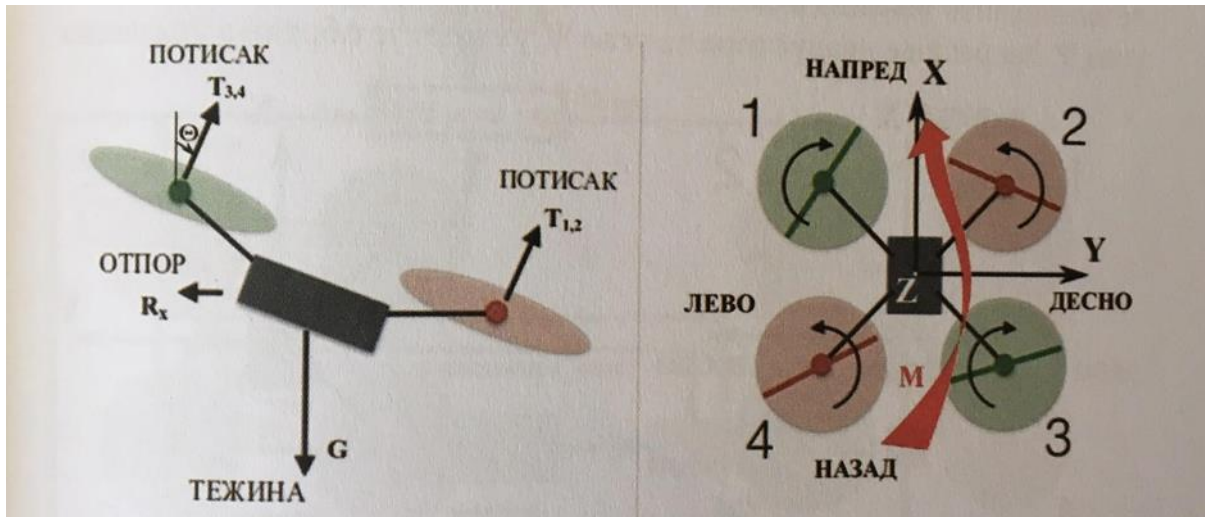
Вертикална сила узгона настаје усаглашеним повећањем брзине обртања свих мотора са роторима при идентичном режиму рада. Када укупна узгонска сила надјача гравитационе силе, квадатор се одваја од тла и пење на жељену (командовану) висину.

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 квадатор продужава лет без промене надморске висине.

Један од задњих ротора окреће се у смеру казаљке на сату, а други супротно. Појединачно повећани обртни momenti 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 испуњени су услови:



Слика 77. Смерови кретања БПЛ

- ⌘ $\Psi=0 \rightarrow T_3=T_4$ и $T_1=T_2$
- ⌘ $\theta=\text{const} \rightarrow (T_3+T_4) > (T_2+T_1)$
- ⌘ $G=R_z$
- ⌘ $R_z=(T_1+T_2+T_3+T_4)\cos \theta \cdot R_x=(T_1+T_2+T_3+T_4)\sin \theta$

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).

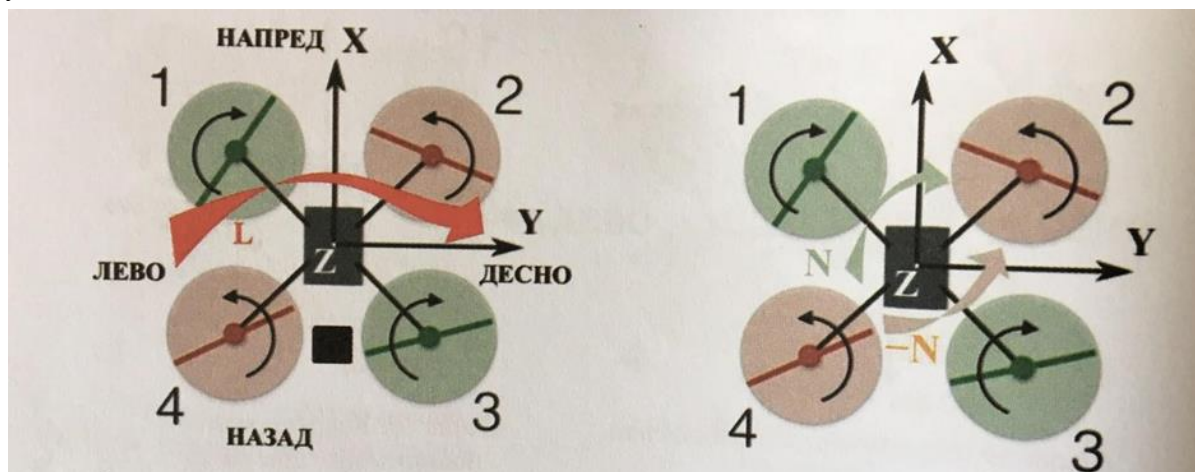
Услов за попречни нагиб квадратора под углом ϕ : $(T_1 + T_4) > (T_2 + T_3)$.

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 квадратор нагне десно, што је назначено црвеном лучном попречном стрелицом. 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).



Слика 78. M210 систем дрон звучник

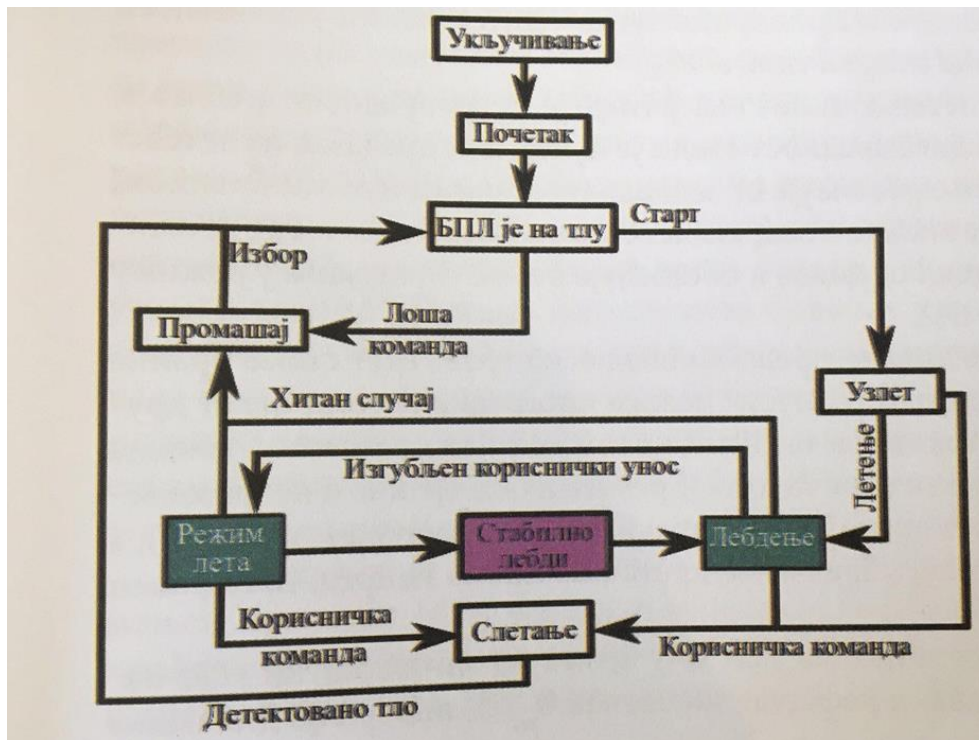
Код квадратора, тај проблем анулирања изазваног момента који делује на тело летелице системски се решава комбинацијом упарених мотора са роторима супротног смера обртања (2+2). Та техника се уједно користи и за управљање квадратором по правцу намерним успостављањем дебаланса тих момената, успоставњем 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 квадратор за угао Ψ . Закретање квадратора за угао Ψ у смеру је обртања упарених 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, када се брже обрћу зелени ротори, изазван је већи момент који утиче да квадратор скреће десно, а када се други пар ротора брже обрћу (2 и 4), квадратор скреће улево.



Слика 79. Попречни обртни момент (котрљање), момент окретања

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. 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. Према задањим поставкама, тј. кад корисник не додирне екран његовог управљачког 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 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).



Слика 80. Оператер земаљски

Управљање се одвија преко затворених петљи путном брзином, висином и угаоном брзином. Петље одређују разлике између задатих 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).



Слика 81. Архитектура фузије података и управљања БПЛ, квадратура

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. 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, праћен је инверзијом.

Концентришући се на уздужну брзину и одговарајући угао нагиба θ , израчунава се референтни сигнал $\theta_{ref}(t)$, инверзија динамике $u = -g \cdot \theta - Cx$, где је Cx , коефицијент силе аеродинамичког отпора, филтер другог реда који је резултат идентификације у затвореној петљи.

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

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

Слика 82. време заустављања за различите претходне (почетне) брзине

Летелице без узгонских и стабиizacionих 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. 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. *todel predictive control MPC*) препознат као потенцијалан метод у примени код беспилотних летелица са нелинеарном динамиком.

Карактеристика предвиђања MPC-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 алго- ритма MPC је решавање формулисања проблема оптимизације. За нелинеарни систем, MPC 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 узгонскох и стабилизационих површина. Забележено је само неколико примена управљања где је примењен принцип MPC 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 MPC може се пронаћи и у примени последичног регулатора затвореног облика, који се може формулисати без оптимизације интернетом. Предност ове употребе алгоритма MPC није само елиминација мрежне оптимизације и продужење ресурса, већ и већа ширина поља управљања, што је веома важно за лет те категорије летелица. Оса инжењерског становишта, постоје практична питања о проблематици аутономног летења малих БПЛ те категорије. Зна се да су перформансе управљања засноване на MPC-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. Одговор 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.

4 Класификација, намена и употреба БПЛ

На основу надморске висине, следеће класификације UAV су коришћене на индустријским догађајима као што је ParchAberporth беспилотни системи.

Ручно = 2000 ft (600 м) надморске висине, домет око 2 км

Близу = 5.000 ft (1.500 м) надморске висине, до 10 км домета

НАТО тип = 10.000 ft (3.000 м) надморске висине, до 50 км домета

Тактичка висина 18.000 ft (5.500 м), домет око 160 км

MALE (средња висина, дуга издржљивост) до 30.000 ft (9.000 м) и домет преко 200 км

ХАЛЕ (велика надморска висина, дуга издржљивост) = преко 30.000 ft (9.100 м) и неограничен домет хиперсонична велика брзина, суперсонична = (1–5 маха) или хиперсонична (5 маха+) 50.000ft (15.200 м) или суборбитална висина, домет преко 200 км.

Орбитал= ниска Земљина орбита (25 маха+)

CIS = трансфер Лунар Земља-Месец

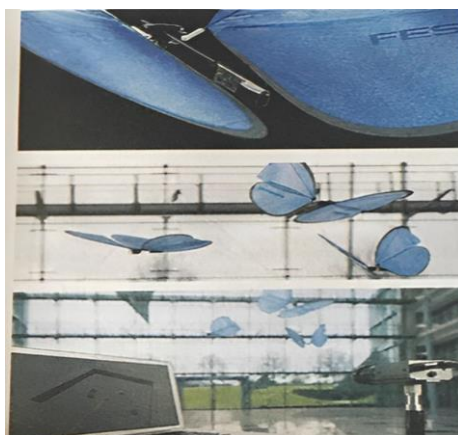
Компјутерски потпомогнут систем за навођење носача (CACGS) за беспилотне летелице.

Основна подела БПЛ је на групе за војну и цивилну употребу.








Без обзира на то што се претпоставља да су за војне сврхе опремљени системима на бази тренутно најсавременије постојеће технологије, најједноставнији цивилни БПЛ се могу користити у војним мисијама, чак и онима намењен за хоби употребу.

NATO UAS CLASSIFICATION						
Class	Category	Normal Employment	Normal Operating Altitude	Normal Mission Radius	Primary Supported Commander	Example Platform
Class III (> 600 kg)	Strike/Combat*	Strategic/National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)	Theatre	Reaper
	HALE	Strategic/National	Up to 65,000 ft	Unlimited (BLOS)	Theatre	Global Hawk
	MALE	Operational/Theatre	Up to 45,000 ft MSL	Unlimited (BLOS)	JTF	Heron
Class II (150 kg - 600 kg)	Tactical	Tactical Formation	Up to 18,000 ft AGL	200 km (LOS)	Brigade	Hermes 450
Class I (< 150 kg)	Small (>15 kg)	Tactical Unit	Up to 5,000 ft AGL	50 km (LOS)	Battalion, Regiment	Scan Eagle
	Mini (<15 kg)	Tactical Subunit (manual or hand launch)	Up to 3,000 ft AGL	Up to 25 km (LOS)	Company, Platoon, Squad	Skylark
	Micro** (<66 J)	Tactical Subunit (manual or hand launch)	Up to 200 ft AGL	Up to 5 km (LOS)	Platoon, Squad	Black Widow

Слика 83. БПЛ категорије

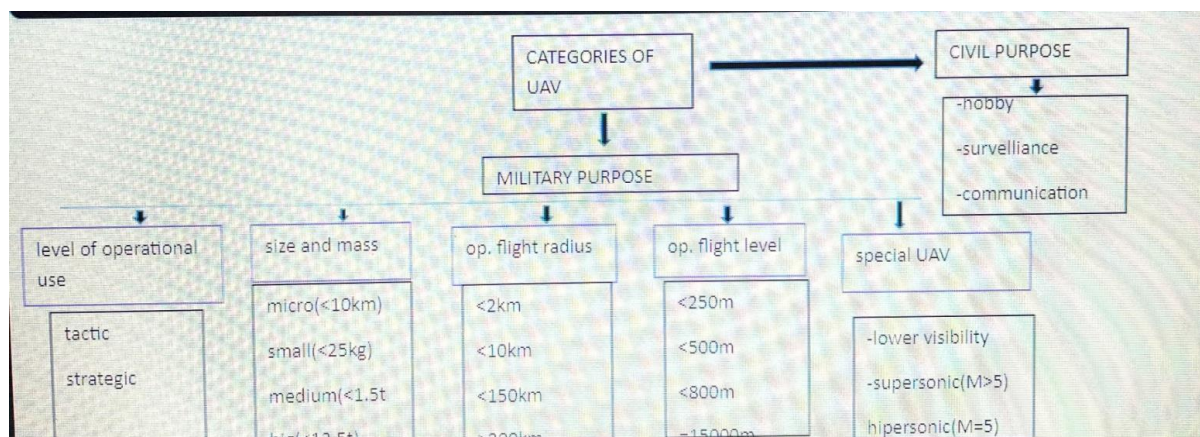


Слика 84. Микро БПЛ

Class	Category	Altitude (ft)	Mission radius (km)	Civil Category	Sample Platform
Class I 150kg>	Micro (<2 kg)	<200 (AGL)	5 (LOS)	weight class group 1	Black Widow 
	Mini (2-20 kg)	<3.000 (AGL)	25 (LOS)	small UAV (<20kg)	Bayraktar, Scan Eagle 
	Small (>20 kg)	<5.000 (AGL)	50 (LOS)	weight class group 2 slight UAV (20-150 kg)	Hermes 90 
Class II 150-600kg	tactic	<10.000 (AGL)	200 (LOS)	weight class group 3 >150 kg	Bayraktar, Aerostar 
Class III 600kg	Medium altitude long endurance (MALE)	<45.000 (MSL)	Unlimited (BLOS)		Heron, Predator, Reaper 
	High Altitude Long Endurance (HALE)	<65.000	Unlimited (BLOS)		Global Hawk 
<	Attack	<65.000	Unlimited (BLOS)	X-47B, Phantom Ray 	

Слика 85. Класа БПЛ

Без обзира на то што се претпоставља да су за војне сврхе опремљени системима на бази тренутно најсавременије постојеће технологије, најједноставнији цивилни БПЛ се могу користити чак и у војним мисијама. Класификација БПЛ по категоријама на основу неколико кључних карактеристика. Ова класификација није могућа по сасвим тачним критеријумима. Ово је у принципу груписање ради лакше комуникације у процесу планирања њиховог учешћа у конкретним мисијама. БПЛ систем класификације користе амерички војни оперативци, због њихове ознаке у општим плановима употребе у њиховим ваздухопловним, војним и цивилним мисијама.



Слика 86. Шема глобалне класификације БПЛ-а по категоријама

4.1 БПЛ категорије према домету и висини лета

- ⌘ Висина лета до 600 м, а домет око 2 км.
- ⌘ Ограничен простор на надморској висини до 1500 м и домету до 10 км.
- ⌘ НАТО тип, висина лета до 3.000 м и домет до 50 км.
- ⌘ Тактички БПЛ, висина лета до 5.500 м и домет до 160 км.
- ⌘ Средње-висинске дуготрајне (МУШКЕ), висина лета до 9.000 м и домет преко 200 км.
- ⌘ Велика надморска висина (преко 10.000 м), дуготрајност на великим висинама (ХАЛЕ) и неограничен домет.
- ⌘ Суперсонични БПЛ (Махов број је 1-5), хиперсонични (Махов број је 5+) и висина лета 15.000 м или суборбитална висина, домет преко 200 км.
- ⌘ Орбитална ниска земља (Махов број је 25).
- ⌘ Транспортер Земља-Месец.
- ⌘ Систем за навођење превозника уз помоћ Сотрутера (ЦАЦГС)

Остале категорије укључују:

- ⌘ Средњи војни и комерцијални БПЛ;
- ⌘ Велики специјални војни БПЛ;
- ⌘ Борба против БПЛ, смањена прикривеност;
- ⌘ Алтернативне опције са и без пилотирања припадају неklasификованим авионима.

Хоби БПЛ може се класификовати у:

- ⌘ Летење, али комерцијално недоступно;
- ⌘ Употребљиве разне платформе, са минималним знањем о летењу;
- ⌘ Сопствени дизајн и обука за летење – потребно је велико знање за успешну имплементацију;
- ⌘ Голи оквир - захтева опсежно знање и сопствене делове за уградњу и летачке вештине.

Класификације БПЛ по тежини су прилично једноставне:

- ⌘ Микро БПЛ - може бити лакши, чак и 10 г. Ови БПЛ имитирају инсекте, следећи ред величине птица.
- ⌘ минијатурни БПЛ-ови теже до приближно 25 кг;
- ⌘ тешки БПЛ имају и до неколико десетина тона.

Групе	Категорије	Максимална полетна тежина (kg)	Плафон лета (m)	Аутономија лета (h)	Домет сигнала (km)	Примери	
						Мисије	Летелице
Микро/Мини	Микро	0,10	250	1	< 10	Контакт, узорковање, присмотра унутар зграде	Блак видов, Микростар, Микробат, Фан коптер, Кватрокоптер
	Мини	< 30	150-300	< 2	< 10	Филм и емитовање индустрија, пољопривреда, мерења загађења, присмотра унутар зграде, комуникација	Микадо, Аладин, Тракер, Драгонеј, Равен, Поентер, Кароло С40/Р50, Шкорпио, Максменд, R-50, Робокоптер, 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, Робокоптер 300, Поентер, Кемкоптер, Аиријел, Агрикултуар 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 TP, MQ-1 предатор, Предатор-IT, Игл-1/2, Даркстар, Е-Хантер, Доминатор

Стратегијске	Велики плафон и ауторитет	2.500- 12.500	15.000- 20.000	24-48	> 2.000	BDA, RSTA, EW, ко- муникациони релеј, подстицај фазе пре- сретања летилица, глобално обезбеђење 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	MALI, Харпу, Ларк, Марула
	Мамци	250	50- 5.000	< 4	0-500	Обмана у ваздуш- ном простору и на мору	Флерт, MALD, Нулка, ITALD, Шукер
	За стратосферу	—	20.000- 30.000	> 48	> 2.000	—	Перас
	Еко- стратосферне	—	> 30.000	—	—	—	Марс флајер, MAC-1

Слика 87. Примери за категорије БПЛ за летање 2006. године

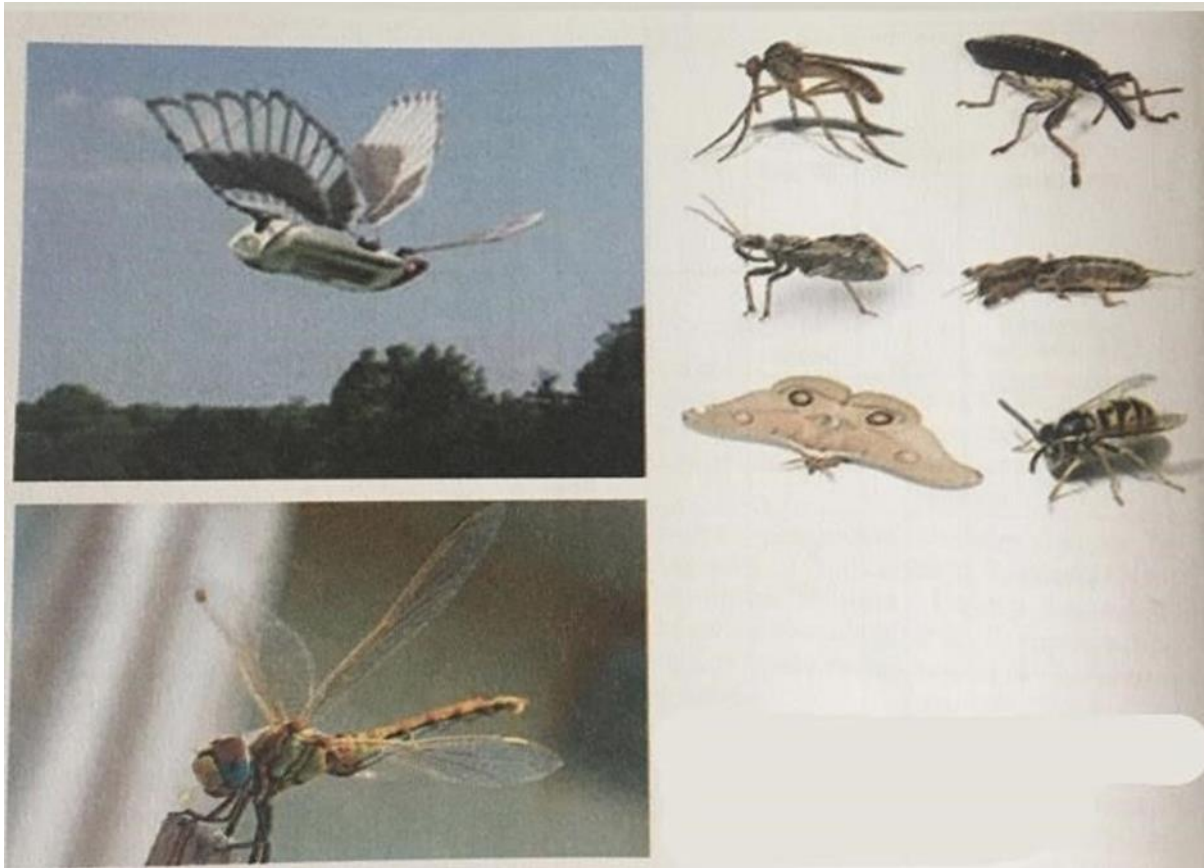
Микро БПЛ заслужују посебну пажњу, посебно оне које су невероватна имитација птица и инсеката. Код пројектовања ових БПЛ приоритетно је познавање биомеханике.

Стручњаке највише интересује и мотивише непознаница отпорности птица и већине инсеката при јаким ветровима, при којима успешно лете. Лете у немогућим условима иако су веома мале масе. Путнички авиони, неупоредиво веће масе, у таквим временским приликама присилно су приземљени.

Та запажања подстакла су стручњаке и они су 2015. године организовано 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 коњица. Вилин коњиц има четири крила, која га у лету чине постојаним и при јаким ветровима, који би иначе постојећим стандардним минијатурним шпијунским БПЛ онемогућили лет.

Тајни пројекат био је велики изазов, због неубичајене употребе лепршавих крила за погон и узгон микро БПЛ. Иако су крила ефикаснија од елисе и могу обезбедити лебдење при јаким налетима ветра, готово је немогуће да инжењери вештачки, конструктивним решењима, остваре функцију крила вилиног коњица.



Слика 88. Микро БПЛ су често у облику птица и разних инсеката

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 м/с, носи камеру и комуникационе системе везе. Дугачка је 8 цм, а њен даљи развој превенствено је фокусиран на смањење габарита.

Стечено знање, примењено је код биомеханичких лептира. 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. Camere преносе податке о њиховом појединачном положају на централни рачунар, који координирано управља летом сваког лептира појединачно. Интелигентни систем умрежавања ствара систем вођења и праћења, који би се могао користити у умреженом надгледању и управљању у будућим фабрикама.

Да би опонашали природни узор, што је могуће веродостојније, 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 летеће по узору на право летеће природног лептира.

4.2 Подела дронова према областима примене

“Дрон је беспилотна летелица или пројектил на даљинско управљање” - Оксфорд Амерички речник.

Цивилне беспилотне летелице састоје се од:

- ⌘ даљински управљаног авиона;
- ⌘ људског елемента;
- ⌘ полетања и слетања;
- ⌘ носивости;
- ⌘ командовања и контрола;
- ⌘ комуникационих веза за пренос података.

Дронови су, као и други авиони, првобитно коришћени у војне сврхе (бомбардовање са безбедне удаљености, логистичка помоћ, радње надзора).

Данас се дронови користе у разним областима. Поред војних примена, дронови се користе и у цивилне сврхе - операције потраге и спасавања, надзор друмског саобраћаја, надзор границе, пољопривреда, услужне делатности и забава.

4.2.1 Употреба дронова у војне сврхе

Дронови су корисни војсци, јер могу да замене човека на пословима где је човеков живот угрожен. БПЛ су категорисани у војсци на основу њихове тежине, брзине и специфичних могућности.

На основу класификације о специфичним улогама предвиђеним у одређеним војним операцијама:

- ⌘ Дронови који се користе као мамац или мета (користе се за надгледање земље и за ваздушне нападе на непријатељске циљеве);
- ⌘ Извиђачке беспилотне летелице (користе се за пружање информација на бојном пољу);
- ⌘ Борбени дронови (користе се за напад у ризичним ситуацијама);
- ⌘ Дронови за истраживање и развој (користе се за развој технологија које се могу додати постојећем систему дронова).

Могућности коришћења дрона у војне сврхе:

- ✂ Откривање мина;
- ✂ Откривање хемијског и нуклеарног оружја;
- ✂ Радарске сметње;
- ✂ Циљно осветљење;
- ✂ Преношење борбеног терета.



Слика 89. Највећи војни дрон *The Global Hawk* који се користи за осматрање

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

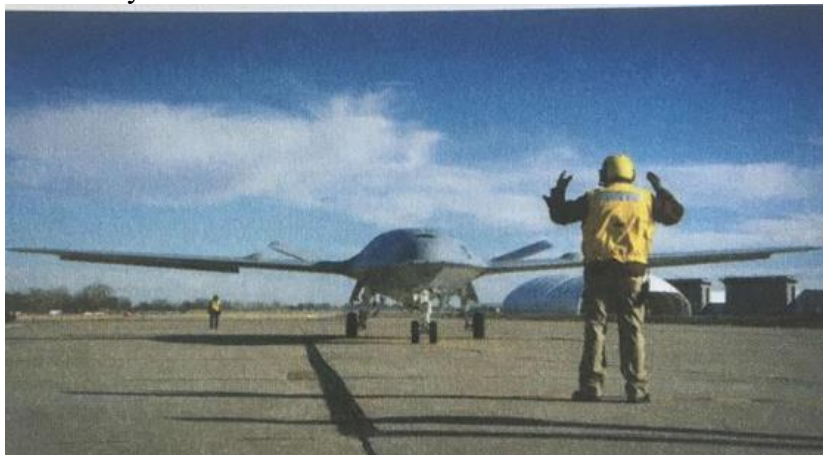
Замисли себе усред бојног поља са само једним заиста убедљивим циљем да маневришеш и дејствујеш од једне до друге тачке и да извршаваш своју мисију - са наградом сопственог опстанка. Једно око фокусираш на сталне претње, а друго на оријентацију у простору. Тензија и дубоки страх те грабе, изложен си 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 FATIMA 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 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.



Слика 90. Боингов МК-25А је прва беспилотна летелица која пуни гориво у авион током лета

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 91. Предатор војна намена

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 робне авионе горивом у лету. На бојним пољима Либије, Украјине, Сирије и Јемена као и у зонама геополитичких сукоба, као што су Персијски 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.

Употреба војних беспилотних летелица доводи у недефинисан статус оператора беспилотних летелица. Да ли су они борци? Они нису изложени двема 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 stradати. 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.

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.

Употребом војних беспилотних летелица смањују се нијансе логичне повезаности догађања на бојном пољу. У Либији учесталост удара беспилотних летелица знатно је 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.

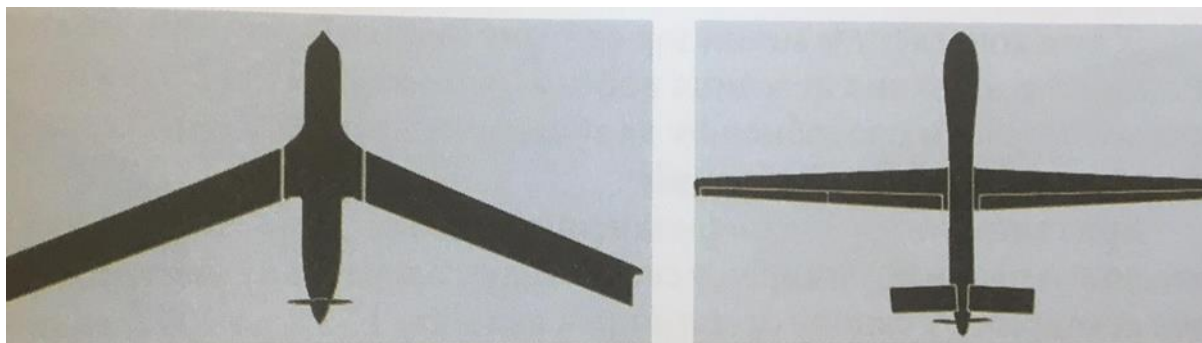
Португалка MARIA DE FATIMA BENTO у свом ауторском чланку Класификација БПЛ сигурно није имала у виду ове аспекте природе рата у коме учествују БПЛ. Студија о војним беспилотним летелицама садржи проблематику у више аспеката. У свету постоје профилисане наоружане групације БПЛ у 101 држави, у седам регија, 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:

- ⌘ 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;
- ⌘ 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.
- ⌘ 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.

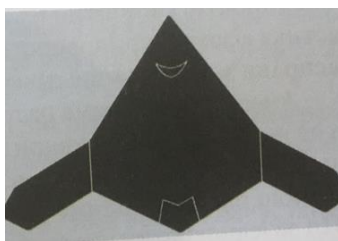


Слика 92. Употреба ваздухоплова у војне сврхе



Слика 93. Војни и комерцијални БПЛ средњи, велика војна БПЛ посебна величина

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 *матица роја*).



Слика 94. Нове технологије БПЛ

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 95. Борба против БПЛ стелт

У том контексту министар одбране Велике Британије изјавио је: „*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 тврде да ће Британија прва успети да интегрише *ројеве* 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 ројеве 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.

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 изнад непријатељске територије.

Експерименталним програмом се 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 96. КСК-222 Валкириес и УТАП-22 мако

Компанија из Сан Дијега производи две класе беспилотних летелица, УТАП-22 мако и ХК-222 валкири за које се тврди да су изграђене управо за 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. Америчко ратно ваздухопловство има велико искуство са управљањем беспилотним летелицама (предаторима и риперима), али 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. 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 су 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 намену.

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 97. БПЛ

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 (стелт технологије).

Намењена је за извиђања и дејство ваздух-земља. Има могућност дугог лета, а маса јој је око 5.000 кг. 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 убрзати Русију 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 деловање 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 посредством 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.



Слика 98.Руска БПЛ

У односу на претходно одржане сајмове, *Армија 2020*. године, значајно је било веће присуство руских беспилотних летелица 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 огроман 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 БПЛ 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 ваздушни простор.



Слика 99. Илустрација садржаја БПЛ Хунтер



Слика 100. Први руски беспилотни хеликоптер

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 учесталости 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 карактеристикама БПЛ Атак се може користити у неутралисању ефикасности тактике коришћења *роја* БПЛ у садејству са *матичним* авионом F-35.

Најстарија и вероватно најконтраверзнија је свакако употреба дронова у војне сврхе. Британска и америчка војска почеле су још почетком 40-их година да користе неке основне облике дронова за шпијунирање непријатеља. Међутим, данашње беспилотне летелице су далеко напредније од ових форми. Могу бити опремљене камерама за термовизијско снимање, ласерским мерачима раздаљине, као и направама за извођење ваздушних напада.

Један од најпознатијих модела је MQ-9 Reaper, који је дугачак 11 м, може остати недетектован до 15 км висине и опремљен је комбинацијом пројектила и опреме за прикупљање обавештајних података.



Слика 101. MQ-9 Reaper

MQ-9 Reaper је наоружана, мулти-мисијска беспилотна летелица, са летом средње висине и са дугим трајањем лета, која се првенствено користи за ликвидацију динамичних мета, а затим и као средство за прикупљање обавештајних података. Обзиром на чињеницу да је у могућности да лети у круг сатима пре него што пронађе мету (loitering time), да је опремљена сензорима широког домета, вишемодним комуникационим системом, као и прецизним оружјем, ова беспилотна летелица пружа јединствену способност извођења напада, координације и извиђања несталних и временски осетљивих циљева. Reaper може да обавља и следеће мисије и задатке: обавештавање, надзор, извиђање, блиску ваздушну подршку, борбену претрагу и спасавање, прецизан напад, надгледање конвоја или препада, као и терминално навођење (terminal air guidance).

Опште карактеристике дрона MQ-9 Reaper:

- ✂ дужина – 11 м;
- ✂ висина – 3,8 м;
- ✂ распон крила – 20,1 м;
- ✂ тежина – 2,223 кг (празан);
- ✂ максимална тежина при полетању – 4,760 кг;
- ✂ носивост – 1,701 кг;
- ✂ брзина – 200 чворова,
- ✂ домет – 1000 наутичких миља;
- ✂ вертикални домет – 15 км;
- ✂ потисак – 900 коњских снага;
- ✂ турбо-пропелерни мотор Honeywell TPE331-10GD;
- ✂ наоружање – комбинација четири ракете ваздух-земља - AGM-114 Hellfire, две ласерски навођене бомбе - GBU-12 Paveway II, док су у току испитивања гађања циљева ракетама ваздух-ваздух - AIM-92 Stinger.

4.2.2 Употреба дронова у пољопривреди

Практична примена дронова у разним областима привреде све је заступљенија и бележи значајан развој.

Пољопривреда је најважнија грана индустрије за опстанак човечанства на планети.

Постоје различите врсте дронова за ову сврху, али неки од задатака су:

- ✂ Инспекција усева;
- ✂ Наводњавање;
- ✂ Преглед наводњавања усева;
- ✂ Прскање усева одговарајућим производима;
- ✂ Садња;
- ✂ Процена здравља биљака.

Дронови су сигурнији и ефикаснији начин одржавања терена – смањују трошкове и време. Беспилотна летелице пружају пољопривредницима информације за откривање могућих проблема и њихово смањење. Дронови намењени за пољопривредне намене могу да издрже и неповољније временске услове. Дронови имају одређене сензоре који имају способност прикупљања велике количине информација (откривање квалитета биљака и рано откривање болести).



Слика 102. Пољопривредна беспилотна летелица

Беспилотне летелице су јефтинија и ефикаснија алтернатива за очување дивљег света. Праћење популације дивљих животињских врста готово је немогуће са земље, те тако поглед из птичије перспективе омогућава научницима, који се баве заштитом дивљих врста, да прате различите групе животиња, од орангутана на Борнеу, па до бизона у Великим равницама у централним деловима Северне Америке, како би стекли бољу представу о здрављу њихових врста и екосистема. Дронови за заштиту дивљег света, представљају савршен алат у борби против криволова у Азији и Африци. С друге стране, дронови се често користе и за пошумљавање области које су претходно биле захваћене пожарима, бацајући посуде са семенкама, ђубривом и хранљивим састојцима. Од 1990. године на овај начин пошумљено је готово 300 милиона хектара земљишта.



Слика 103. БПЛУ заштити животињског света

На Универзитету за технологију у Квинсленду, истраживачи су развили иновативну методу за откривање популација коала користећи, при томе, дронове и инфрацрвено снимање, које представља поузданију и мање инвазивну технику од традиционалних техника праћења популација животиња.

У студији објављеној у часопису *Scientific Reports*, научници су детаљно описали технику која укључује алгоритам за лоцирање коала помоћу дрона који могу да детектују топлотни траг. Ова техника има невероватан потенцијал не само када је у питању праћење популације коала, већ и других угрожених врста, као и за откривање инвазивних врста.

Наиме, овај систем користи инфрацрвено снимање за откривање топлотних сигнала коала, упркос покривености густим крошњама стабла еукалиптуса. Да би се максимизирала ефикасност ове технике, истраживачи су вршили прегледе подручја рано ујутру током хладнијих месеци, када је разлика између телесне температуре коала и подручја вероватно била већа.

Након лета, подаци са дрона се анализирају помоћу алгорита који је дизајниран тако да може да разликује топлотне трагове коала од топлотних трагова других животиња у истом подручју. Овај начин је свакако бржи и јефтинији од традиционалне анализе подручја са земље. Међутим, постоје области које дроновима нису приступачне, те се из тог разлога улога човека не може у потпуности искључити.

Након одличних резултата, које су научници постигли применом дрона, циљ је да се систем дрона користи и на неким другим подручјима и да се алгоритам прилагођава, како би могле да се детектују и неке друге врсте животиња и да се на тај начин у будућности прати њихова популација.

4.2.3 Употреба БПЛ у испорукама

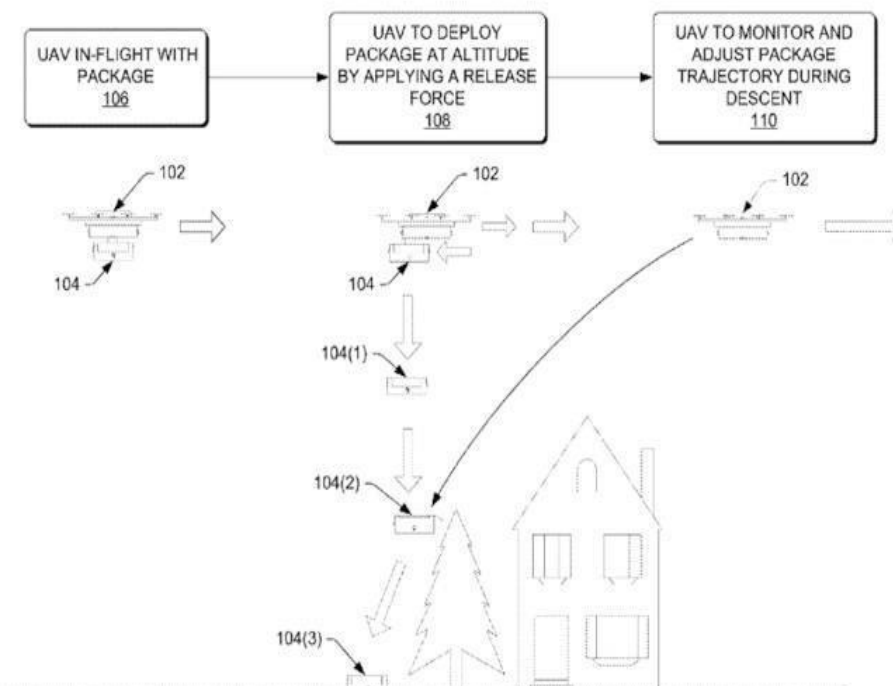
Технологија испоруке дроном се брзо развија, али још увек није спремна за свакодневну примену. Amazon, Alphabet, Flirtey су препознали потенцијал коришћења ове технологије у исплативе сврхе.

Амазон је направио патент који се односи на испоруке падобрана, који би смањили могућност судара са препрекама у дворишту.

Ови дрони би могли да прате пакет након што буду испуштени и да прилагоде смер испоруке у случају одступања коришћењем компримованог ваздуха, закрилца за слетање или секундарног падобрана.



Слика 104. Испорука беспилотном летелицом



Слика 105. .употреба беспилотних ваздухоплова у испоруци

Дронови који се користе за доставу су обично аутономне беспилотне летелице и служе за транспорт хране, пакета и робе до кућног прага. Ови дронови познати су још и као *last mile* дронови за испоруку, зато што се користе за испоруку ствари из оближњих продавница или складишта. Малопродајни објекти и ланци прехранбених производа се све више окрећу дроновима као ефикаснијој алтернативи испоруке. Они могу да понесу и до импресивних 55 кг терета. Walmart, Google, FedEx, UPS и други велики брендови тренутно тестирају различите верзије дронова за испоруку.



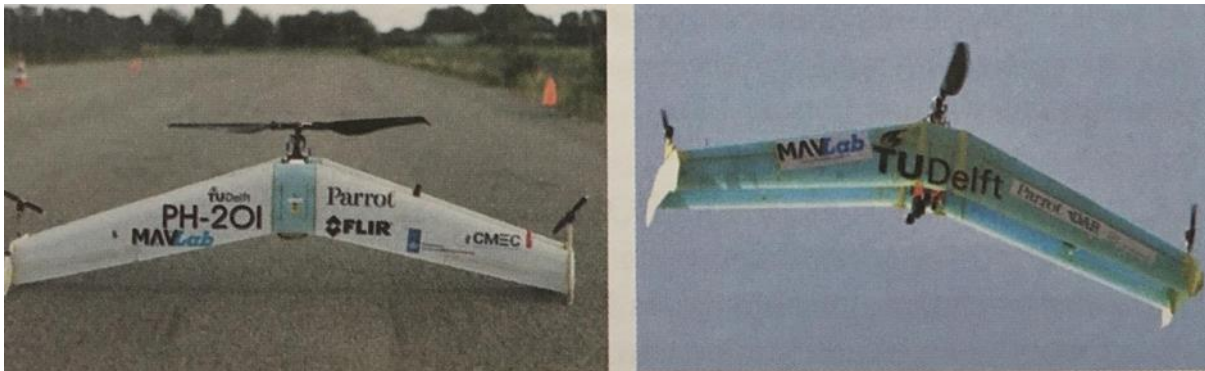
Слика 106. .БПЛ за испоруку

Азијски гиганти е-трговине Rakuten и JD.com су 2019. године, као одговор на повећану потражњу за online куповином, успоставили сарадњу на пољу комерцијализације дронова који би се користили за испоруку пакета. Компанија Rakuten, са седиштем у Јапану, је последњих неколико година технолошке иновације поставила као свој приоритет, експериментишући са аутономним *last mile* испорукама, где планински терен Јапана и удаљена острва представљају идеалану средину за тестирање беспилотних летелица.

Компанија Rakuten ће, у те сврхе, користити дрон компаније JD.com, који је широк 160 цм, висок 60 цм и може да лети до 16 км удаљености. Поред ове беспилотне летелице, *Rakuten* ће користити и беспилотно земаљско возило дужине 171 цм, ширине 75 цм и висине 160 цм, а које остварује брзину до 15 км/ч.

4.2.4 Мале БПЛ

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



Слика 107. БПЛ двокрилна конфигурација са једним погонским пропелером



Слика 108. Хелиос (енгл. Helios)

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 енергетско 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.

4.2.5 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 и земљотреса, 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 криволиних 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 преусмеравање саобраћаја, 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.



Слика 109. БПЛ са осам ротора ; Комерцијални БПЛ (квадрокоптер, опремљен је камером производа од кинески од ДЈИ)

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 приказан 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 ФАА је непосредно пред празнике објавила видео, подучавајући амбициозне кориснике беспилотних летелица како да се понашају приликом њиховог коришћења. Све више људи се обучава 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 *Parrot* са 110 милиона долара и америчка компанија ЗД 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 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 поузданије су. Комерцијалне беспилотне летелице кинеске фирме DJI масовно је користила америчка војска.



Слика 110. Фотографија снимљена дроном

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.

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

4.2.6 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 авиоделари 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 111.

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 111. Модел авиона са клипним елисом који контролише радио сигнале (RC) започео је еру беспилотне летелице

Дронови намењени хобистима омогућавају појединцима да сниме фотографије које су раније могле бити снимљене само из авиона или хеликоптера. За добар квалитет фотографије највећи значај имају сензори, нарочито када је у питању снимање из ваздуха, те се тако данас, на тржишту дронова, сензор од 1 инча појављује као нови златни стандард који користе дронови попут новог Mavic 2 Pro и професионалног фотографског дрона Phantom 4 Pro V2.0.

Свакако најмоћнији професионални дрон за фотографисање је Inspire 2 који користи CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) сензор који олакшава снимање висококвалитетних фотографија при слабом осветљењу.

Добри фотографски дрoнови су изузетно скупи, не само зато што обезбеђују добар квалитет слике и систем контроле лета, већ и зато што су опремљени интелигентним функцијама за подршку снимању. Различити дрoнови имају различите карактеристике. Тако нпр. Mavic 2 Zoom има двоструки оптички зум који даје ближи приказ удаљених објеката, чинећи јединствене сцене доступнијим за снимање на даљину, Phantom 4 Pro је опремљен механичким затварачем за смањивање дисторзије која се може јавити приликом сликања субјеката који се брзо крећу или лете великом брзином.



Слика 112. БПД намењена хобистима

Већина дрoнова данас се користи за личну употребу. Људи користе дрoнове за забаву, тркају се и такмиче се са њима, а у ове сврхе најчешће се користе мали дрoнови. Најважније карактеристике дрoнова за трке:

- ⌘ Снага;
- ⌘ Брзина;
- ⌘ Маневарске способности - агилност се бодује на такмичењима;
- ⌘ Издржљивост - због велике брзине може да се судари са нечим, па су потребни чврсти делови дрона;
- ⌘ Време лета – није толико важно, јер већина дрoнова лети 5-10 минута;
- ⌘ Батерије за брзо пуњење;
- ⌘ Квалитет камере - потребан нам је FPV (First Person View) који има потребно видно поље и добар видео пренос за пренос слике уживо.

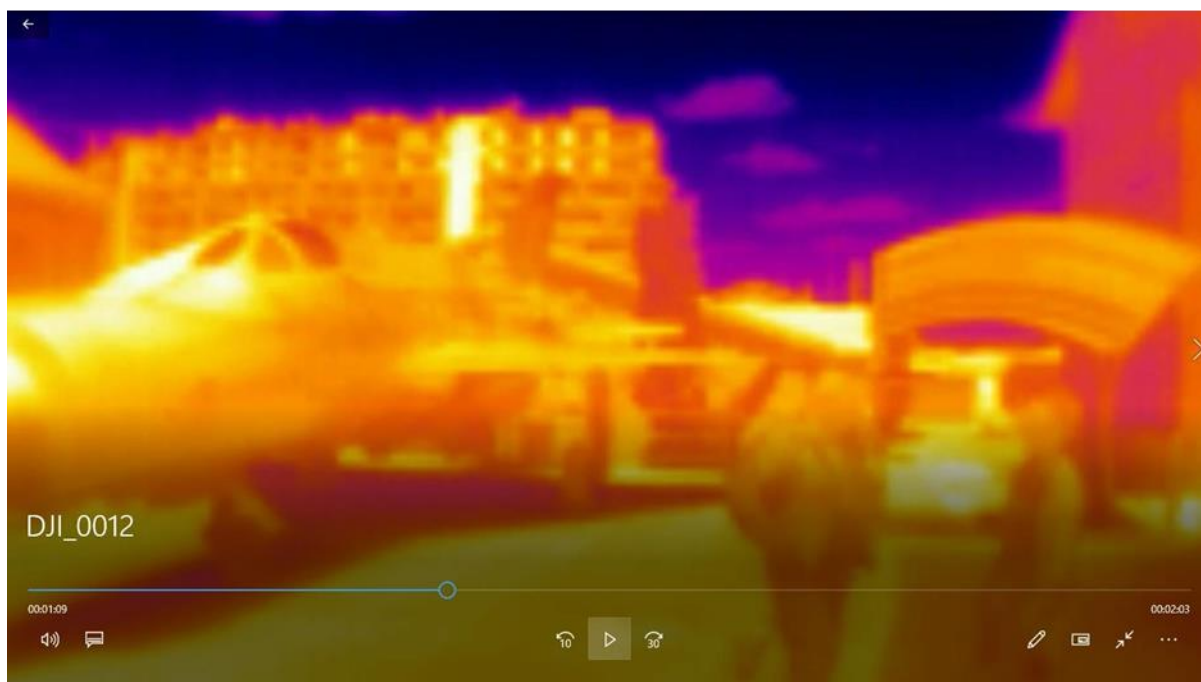


Слика 113. Тркачки дрон Eachine Wizard X220s

4.2.7 Дронови у акцијама трагања и спасавања

Често се дешава да због обима или тежине катастрофе није довољно безбедно послати људе у мисије спасавања. У тим ситуацијама, дрон постаје идеално решење. У случају превртања брода или утапања особа, спасиоци могу да пошаљу аутономно подводно возило како би помогли при спасавању. Такође, уколико на великим висинама дође до лавина, дронови се распоређују у потрази за онима који су можда остали под снегом. У том смислу, интересантно је и напоменути да је произвођач авиона *Kaman* чак развио беспилотни хеликоптер назван КМАХ, који је способан да понесе до 2700 кг терета. Овај тип хеликоптера се већ користи у Кини и Аустралији као помоћ при гашењу пожара.

Приказ и могућности дрона DJI MAVIC 2 ENTERPRISE DUO власништво академије као и свих додатака намењених за акције трагања и спасавања.



Слика 114. Термална камера



Слика 115. Модел БПЛ за спасавања

4.2.8 Дронови за лоцирање особа несталих у лавини

Према статистикама National Geographic лавине сваке године однесу животе више од 150 људи, од којих су већина скијаша, snowboarder-и и возачи моторних санки.

Произвођачи беспилотних летелица верују да би њихови дронови могли да допринесу бржем лоцирању жртава лавине, али и да омогуће ски-патролама да као превентивну меру, даљински активирају експлозив како би очистили снег са високоризичних падина.

Коришћење дрона за драматично скраћивање времена потраге, спасиоцима пружа прилику да дођу до жртава закопаних испод слојева снега, пре него што буде прекасно. Наиме, више од 90% људи који су затрпани испод снежних наноса преживи, уколико се, откапају у року од 15 минута. Међутим, након 45 минута, шансе за преживљавање се смање на свега 20%.

Горска служба спасавања у Чешкој користи спасилачке беспилотне летелице *Robodrone Kingfisher*, које су опремљене камерама и сопственим системом за детекцију лавинских примопредајника односно ручних радио уређаја који, када се активирају, емитују импулсни сигнал мале снаге, што олакшава лоцирање људи који су затрпани испод лавине. Међутим, за људе који не носе лавинске примопредајнике постоје специјални термални и мултиспектрални системи који су у могућности да детектују гасове, као што су метан и угљен-диоксид, и да на тај начин открију људе закопане испод снега или рушевина.

С друге стране, када је реч о дронима који помажу патролним тимовима у покретању контролисаних лавина коришћењем експлозива, дешава се да је тренутно њихов развој на чекању, посебно у Америци где Савезна влада не дозвољава цивилним оператерима да управљају наоружаним беспилотним летелицама изнад америчког тла.

4.2.9 Свемирски летови дронова

NASA и U.S.Air Force, већ неколико година уназад, тестирају беспилотне летелице које ће бити усмерене на свемирска путовања. Наиме, беспилотна летелица X-37B је ултра-тајни дрон U.S.Air Force-а који изгледа као минијатурни space shuttle, а који кружи ниском земљином орбитом, више од две године, постављајући тиме рекорд за најдужи лет беспилотне летелице.

X-37B је дугачак 8,9 м распон крила му је 4,5 м, док је максимална маса полетања нешто испод 5 тона. Обзиром да доња орбита захтева већу управљивост, што значи и више горива, ова беспилотна летелица користи потиснике, тачније Hall thrusters, код којих се коришћењем електричних и магнетних поља за јонизовање гасова, попут ксенона, ствара *млаз* јона који ствара потисак. Та технологија је знатно чистија, сигурнија и енергетски ефикаснија у односу на традиционалне ракете, међутим главни проблем јој представља релативно мали потисак и споро убрзање, па се не може користити за лансирање са Земље, већ само за свемирска путовања.

Према званичним информацијама, вишегодишња тестирања овог модела су усмерена на испитивање напредног навођења, навигације и контроле; на испитивање система термалне заштите и авионике; на тестирање отпорности конструкције и заптивака у високотемпературним условима, конформне изолације за вишекратну употребу, лаганих електромеханичких система лета, напредних погонских система, напредних материјала, као и аутономног орбиталног лета, повратка и слетања.

Који ће бити његови задаци, вероватно је строго чувана тајна, међутим смањење великих сателита на мање сателите, једнако способне да се спусте у ниже делове орбите, има смисла када су вам потребне слике веће резолуције места за нпр. лансирање ракета у Северној Кореји или кинеских операција у спорним областима у Јужнокинеском мору.

4.2.10 Дронови у медицини

Технологије у медицини данас више нису само ограничене на употребу рачунара. Широм света ради се на прототиповима беспилотних летелица које би се могле користити у различите сврхе – за допремање лекова и медицинске опреме у удаљене и тешко доступне области, за транспорт узорака крви из удаљених болница до болница у већим градовима, за смањење времена испоруке донираних органа људима широм земље, као помоћ након катастрофа, у ванредним ситуацијама.

Истраживачи са Универзитета Johns Hopkins у држави Мериленд су 2017. године успешно транспортовали узорке крви беспилотном летелицом, која је успела да прелети преко 250 км пустиње и тиме тада поставили нови рекорд када је у питању дужина лета. У овој студији коришћена је летелица Latitude Engineering HQ-40. Реч је о QuadPlane хибридном дрону који има могућност вертикалног полетања и преласка на традиционални хоризонтални лет. Дрон се показао као изузетно погодан, јер има могућност слетања на малом простору.

Наиме, током тросатног лета, захваљујући уграђеном систему за регулацију температуре, створени су оптимални услови како би узорци након слетања били спремни за даљу анализу.

Узорци су били смештени у комори са контролисаном температуром коју је дизајнирао Хопкинсов тим. Комора користи електричну енергију летелице како би узорке чувала на собној температури током топлог или хладног времена. Овај уређај лакши је од еквивалентне количине леда, који се данас најчешће користи приликом транспорта узорака. Поред тога, комора има могућност грејања узорака уколико је температура ваздуха ниска.

Ово се показало као најбржа, најсигурнија и најефикаснија опција за достављање биолошких узорака, било да је реч о руралној или урбаној средини, где је највећи непријатељ била логистичка неефикасност, коју је сада могуће превазићи употребом беспилотних летелица.

Џој Новаи (енгл. Joy Nowai) је 2018. године постала прва беба која је примила вакцину допремљену комерцијалним дроном у острвској држави Вануату у Јужном Пацифику.

Дрон је тада прелетео готово 40 км планинског терена од залива Dillon, који се налази на западној страни острва, све до залива Cook на источном крају острва. Наиме, заливу Cook недостаје електрична струја, а самим тим и здравствена установа, а да би се стигло до ове мале заједнице потребно је ићи пешке преко стеновитих брда или малим локалним чамцима, чији су поласци често отказани због неповољних временских услова.

Према речима Хенриета Фора (енгл. Henriette H. Fore), извршне директорке UNICEF-а, ово је уједно и први пут на глобалном нивоу да је Влада једне земље ангажовала комерцијалну компанију за дроне за транспорт вакцина у удаљена подручја. Реч је аустралијској компанији Swoop Aero и ово је одличан пример како би технологија дрона у будућности могла да утиче на промене тиме што ће премостити километре неприступачних терена које је до сада било готово немогуће прећи.



Слика 116. употреба беспилотних ваздухоплова у медицини

4.2.11 Снимање и спортски садржаји

У последње време популарни су филмови о дроновима због бољег ефекта, лакшег и бржег снимања. Камере за дронове могу да снимају сцену из ваздуха, снимајући целу сцену самостално са унапред програмираном путањом лета која снима одређену сцену. Дронови са камерама су лагани и направљени од издржљивих материјала. Користе се и за снимање концерата, спортских догађаја и свечаних манифестација. Омогућавају перспективу која се не може снимити фиксним камерама.



Слика 117. употреба беспилотних ваздухоплова у филмској индустрији

4.3 Намена БПЛ

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.

Беспилотне летелице (Unmanned Aerial Vehicles - UAV) односно дронови намењени су за извршавање најразличитијих задатака, од свакодневних до екстремно опасних. Првобитно развијени за војну и ваздухопловну индустрију, дронови су временом ушли у свакодневне токове и то захваљујући повећаном нивоу безбедности, али и ефикасности коју са собом доносе.



Слика 118. БПЛ специјалне намене

Беспилотне летелице се одликују одређеним степеном аутономије. Тај ниво се креће од даљинског пилотирања (човек контролише кретање дрона), па све до напредне аутономије, што значи да се беспилотна летелица, за израчунавање кретања, ослања на систем сензора и на технологију ласерског скенирања LIDAR (Light Detection and Ranging). LIDAR технологија је једна од најбрже растућих технологија у поступцима прикупљања и обраде просторних информација. Други назив за LIDAR је оптички радар или ласерски радар. Он ради на сличан начин као радар и сонар, с тим што користи светлосне таласе ласера уместо радио-таласа или звучних-таласа.



Слика 119. Опрема БПЛ

Различити дрoнови су способни да лете на различитим висинама и да достижу различите даљине. Беспилотне летелице веома блиског домета могу да лете до 5 км удаљености и углавном их користе хобисти. Беспилотне летелице блиског домета достижу готово 50 км, док беспилотне летелице кратког домета достижу до 145 км и најчешће се користе за шпијунажу и за прикупљање обавештајних података. Беспилотне летелице средњег домета оспособљене су да лете до 650 км и користе се за прикупљање обавештајних података, као и за научна и метеоролошка истраживања. Беспилотне летелице највећег домета називају се још и *Endurance* дрoнови и имају способност да пређу и до 650 км и да лете на висини од готово 1 км.

Због чињенице да се дрoновима може управљати на даљину, као и да могу да лете на различитим висинама и да остварују различите раздаљине, дрoнови су савршени за преузимање неких од најтежих послова на свету. Тако се могу наћи приликом потрага за преживелима на слабо доступним теренима, затим, врло често, обезбеђују војсци и полицији поглед из птичије перспективе током терористичких активности, и што је јакo важно, унапређују научна истраживања у неким од најекстремнијих предела на земљи. Дрoнови су, током времена, пронашли и пут до наших домова и данас, између осталог, представљају кључни алат фотографима широм света.



Слика 120. БПЛ

- ⌘ Хеликоптери са једним ротором – изгледају као мање верзије обичних хеликоптера и могу бити на гасни или електрични погон. Један крак пропелера и способност рада на гас, доприносе његовој стабилности и омогућавају лет на веће удаљености. Ове беспилотне летелице се обично користе за транспорт тежих предмета, укључујући и LIDAR системе за снимање терена, истраживање олуја и мапирање ерозија које су настале као последица глобалног загревања.
- ⌘ Мулти-ротор дронови – дронови са више ротора су углавном једни од најмањих и најлакших дрoнова на тржишту. Имају ограничен домет, брзину и висину летења и представљају савршен алат за ентузијасте и фотографе. Ови дронови могу да проведу око 30 минута у ваздуху, носећи при томе лаган терет, као што је камера.
- ⌘ Дронови са фиксним крилима – изгледају попут нормалних авиона где узгон обезбеђују крила, а не ротори, што их чини врло ефикасним. Ови дронови обично користе гориво уместо електричне енергије и то им омогућава да остану у ваздуху и до 16 сати. Обзиром да су обично много већи од других дрoнова и да су другачије дизајнирани, за полетање и слетање им је потребна полетно-слетна стаза, као код обичних авиона. Дронови са фиксним крилима се често користе за војне акције, користе их научници за преношење опреме, али их користе и непрофитне организације за достављање хране и друге робе у тешко доступна подручја.

4.3.1 Технологија примене БПЛ

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. Standardization Agreement).

Представио је овај текст који је почео процесом ратификације још 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 удаљини су минимални.

Уграђене компоненте могу се сврстати у групе:

- ⌘ Рачунар за управљање летом (енгл. flight control computer, FCC);
- ⌘ Навигациони сензори;
- ⌘ Комуникацијски модул;
- ⌘ Енергетско напајање.

Рачунар за управљање летом са уграђеним програмом РС/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 121. Уопштено, компоненте беспилотне летелице

Глобални позициони систем (ГПС) који се користи у овој управљачкој структури има изузетну тачност од два центиметра. 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 *gas* мотора, покрећу се извршним покретачима који прихватају сигнале (енгл. Pulse-width modulation PWM) у трајању 14-21 мс, као референтне команде. Кашњење (временска константа) тог процеса је у распону 0,8-2,4 мс. Да би се осигурала безбедност, на прилагођени прихват носеће плоче додаје се посебно коло којим се може пребацити 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 интернет 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 км. 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 уобичајеним ситуацијама, бежична интернет 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 интернет се користи као кичма од више учесника у систему који се састоји од већег броја БПЛ.

Земаљска станица поседује ГПС, базу станицу и преносни рачунар, намењен за комуникације, затим уређаје за бежични модем или бежични интернет. Из станице се прати, а уједно и чувају подаци о лету БПЛ, а шаљу се и 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 интернету за праћене 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.



Слика 122. Систем осветљења за БПЛ

4.3.2 Технологија дрона

Дронови, који се последњих година пуно користе и нуде неограничене могућности у многим областима, беспилотна летелица више није само хоби. Постала је технологија која се користи у многим областима као што су војне и комерцијалне индустрије. Дронови, који су еволуирали са интернетом и вештачком интелигенцијом, данас су јефтин и ефикасан начин за стварање различитих физичких и сајбер безбедносних претњи. Његова употреба је постала широко распрострањена употребом беспилотне летелице возила америчке војске за борбу против терористичких организација. Чињеница да су дрони мали, у њима се може лакше управљати у опасним окружењима, имају и мање трошкове одржавања у односу на конвенционалне летелице.



Слика 123. Амерички војни дрон

У САД Федерална управа за ваздухопловство (ФАА) је недавно објавила да број регистрованих дрона је премашио 1 милион. Док се 878 хиљада регистрованих дрона користи у хоби сврхе, 122 хиљаде се користи за јавне и комерцијалне сврхе. Према извештају који је *Bi Intelligence* објавио 2016. године, продаја дрона широм света износила је 12 милијарди долара. Очекује се да ће до 2021. према процењеним цифрама у поменутом извештају, само три земље у свету премашити ранији износ.

Иако постоје милиони дрoнова, очекује се да ће се овај број повећати на 17,5 милиона у 2019. а на 22 милиона у 2020. години. Према извештају *Global Drone Market*, који је припремио *Aviat Drones 2017*. тржиште алата за безбедност дрoнова ће премашити 10,5 милијарди долара до 2020. године. Истраживачка фирма *GrandView Research 2017*. показује да глобално тржиште софтвера и услуга за беспилотне летелице ће достићи 84,3 милијарде долара до 2025. године.

4.3.3 Дрoнови у Турској

Повећање броја регистрованих дрoнова и власника дозвола за дрoнове у Турској показује да је интересовање за дрoнове повећано. Према подацима Генералног директората за цивилно ваздухопловство (СХГМ) за 2018. годину број регистрованих дрoнова у Турској је 24.866, док је број људи који користе ове алате био 31.194. Број регистрованих фирми дрoнова у Турској за годину дана је порастао на осам, а број носилаца лиценци порастао је пет пута. Да би дрoнови били под контролом уведена је обавезна регистрација дрoнова у Турској. Беспилотне летелице максималне тежине при полетању између 500 гр и 25 кг и њихови пилоти се шаљу у SHGM (Civil Aviation General Directorate) где морају да се региструју.



Слика 124. Барјактар

5 Међународни прописи и регулативе из области БПЛ

5.1 Регулатива

Регулатива је правни основ који омогућава контролу над одређеним аспектима живота. Састоји се од правних инструмената, као што су закони и подзаконски акти. Закони и подзаконски акти служе да укажу шта је дозвољено, а шта не, и која су законска ограничења и санкције.

Беспилотне летелице представљају технологију будућности, њихове летеће карактеристике се разликују од других авиона, што захтева корекције у законској регулативи које ће омогућити безбедан смештај беспилотних летелица у постојећем ваздушном простору. Регулатива треба да се заснива на безбедности – требало би да заштити друштво од могућег лошег утицаја дрона. Проширењем употребе дрона идентификоване су потенцијалне опасности. Раст броја корисника и велики број незгода, указао је на проблем безбедности и потребу увођења одређених закона у овој области.

Свака држава доноси своје прописе о дронавима, а међу њима постоје и одређене разлике. Наравно, постоје одређена основна правила која је усвојила Међународна ваздухопловна организација, којих би све земље морало да се придржавају.

5.2 Регулатива у Европи

Европски простор има велики број организација које доприносе развоју ваздухопловне индустрије. Ове организације доносе правила, стандарде, процедуре и прописе. Њихов циљ је да побољшају садашњи ниво безбедности, економичност и ефикасност ваздушног саобраћаја. Две најважније организације у Европи су EASA и EUROCONTROL.



Слика 125. EASA

EASA (European Aviation Safety Agency) - званична агенција Европске уније задужена за ваздушну безбедност и заштиту животне средине. EASA има седиште у Келну, преседава Немачка са 32 земље чланице. Директор EASA верује да ће Европа бити први регион на свету са свеобухватним скупом правила која обезбеђују безбедне и одрживе операције дрона, како у пословним, тако и активностима у слободно време. Заједничка правила доприносе иновације, раст технолошког сектора који укључује дроне и подстицање инвестиција.

EASA је објавила низ докумената који одређују и предлажу употребу дрона, међу којима су најважнији:

- ⌘ Основни прописи (ЕС) бр. 216/2008 - основна правила у ваздушном саобраћају. Односи се на производњу, пројектовање, извођење операције са ваздухопловним производима, деловима и уређајима. Не односи се на горе наведене производе, делове, уређаје, особље и организације када су ангажовани у полицији, војсци, царини или сличним услугама. Објављена је у фебруару 2008. године.
- ⌘ Регулаторни оквир за рад дрoнова NPA 2017-05 (А) и (Б) - садржи прописе о беспилотним летелицама са максималном полетном масом (МТОМ) мањом од 150 килограма. Ови ваздухоплови су одговорност држава чланица ЕУ, што доводи до фрагментираних регулаторних система који омета развој јединственог тржишта ЕУ за дрoнове и њихове прекограничне операције.

Циљеви овог документа:

- ⌘ да се за све обезбеди оперативни оквир, пропорционалан, заснован на ризику и учинку;
- ⌘ УАС операције које се изводе у отвореној и специфичној категорији;
- ⌘ да обезбеди висок и уједначен ниво безбедности за УАС (беспилотне летелице);
- ⌘ да подстакне развој тржишта УАС;
- ⌘ да допринесе побољшању приватности, заштите података и безбедности.

Објављена је у мају 2017. године.

3. Увођење регулаторног оквира за рад дрoнова А-НПА 2015-10 - одржава принципима утврђеним у Декларацији из Риге о уређајима за даљинско управљање. Уводи три категорије операције за дрoнове:

- ⌘ Отворена категорија (низак ризик): безбедност је омогућена кроз оперативна ограничења, усклађеност са индустријом стандарда, захтеве за одређене функционалности и минимални сет оперативних правила. Извршење обезбеђује полиција.
- ⌘ Категорија *специфичне операције* (средњи ризик): одобрење националних ваздухопловних власти (НАА), евентуално уз помоћ квалификованог лица (КЕ) након процене ризика коју је извршио оператер. Оперативни приручник наводи мере за смањење ризика.
- ⌘ *Сертификована* категорија (већи ризик): захтеви упоредиви са захтевима ваздухопловства са посадом. Надзор од стране НАА (издавање лиценци и одобрење за одржавање, операције, обуку, управљање ваздушним саобраћајем (АТМ)/Услуге ваздушне навигације (АНС) и аеродромске организације) и ЕАСА (пројектовање и одобрење страних организација).

Овај регулаторни оквир обухвата европска правила за све дрoнове у свим тежинским категоријама. Објављен је у септембру 2015. године.

EUROCONTROL је европска организација за безбедност ваздушне пловидбе. Основана 1963. године, као међународна организација чији је основни циљ стални развој европског ваздушног саобраћаја као систем управљања.

Седиште EUROCONTROL-а је у Бриселу. Тренутно има 41 држава чланица која је укључена у организацију, укључујући и Републику Србију. Највећи пројекат ове организације је *Јединствено европско небо*. Циљ пројекта је брисање државне границе и стварање јединственог европског ваздушног простора.



EUROCONTROL
Слика 126. EUROCONTROL

EUROCONTROL дели беспилотне авионске системе на RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) аутоматизоване авионе и DPAS (Driverless Personal Air Vehicles).

Правила летења UAS ATM Flight Rules документују проблем могућности да дроном управља пилот који није упознат са правилима ваздушног саобраћаја. Циљ је постављање нових правила летења која су применљива на дроне, као и друге летелице. Без развоја правила Low Flight Rules (LFR) у VFR (Visual Flight Rules) and IFR (Instrumental Flight Rules), пуна интеграција неће бити могућа. Сматра се да је најбоља опција да се развију правила летења која укључују VLOS (Visual Line Of Sight) операције у VFR и BVLOS (Beyond Visual Line Of Sight) операције у IFR.

Најважнији документ који издаје EUROCONTROL је RPAS ATM CONOPS - описао концепт рада дронева, објаснио беспилотне системе и типове операција које могу да изводе дроневи. Примарни циљ је описати оперативни банкомат ATM (Air Traffic Management) окружење авиона са посадом и дронева, које пружају заједничка разумевање изазова и има за циљ да створи једнаке услове за све укључене ATM актере.

Објављен је у фебруару 2017. године.

5.3 Регулатива САД

FAA (Federal Aviation Administration) је владино тело Сједињених Држава са овлашћењима да регулише све аспекте цивилног ваздухопловства у тој нацији.

Један од главних законских оквира је званични документ под називом Системи беспилотних летелица - UAS (Unmanned Aerial Systems). Објављен је у августу 2017. године и означен као документ JO 7200.23A - има осам поглавља и четири додатка. Сврха документа је да пружи информације и упутства о томе како да правно управљају дроном, прописују координацију планирања и услуге које укључују операције дронева у ваздушном простору САД.

Од децембра 2015. године сви дроневи су обавезни да се региструју. FAA истиче да дроневи између 0,25 и 25 килограма морају бити регистровани.

Регистрација се може обавити традиционално или онлајн. Уколико је дрон тежи од 25 килограма, а користи се за нехоби операције, иако је предвиђена операција ван Сједињених Држава, оператер мора да поднесе традиционалну пријаву за регистрацију дрона.

Услови за одобрење регистрације - подносилац захтева мора бити држављанин САД или мора имати законито стално пребивалиште и мора бити старији од 13 година. Након завршетка регистрације, апликација ће издати регистрацију ваздухоплова. Сертификат, који ће садржати јединствени идентификациони број, који је назначен на дрону.

Документ Део 107 (FAAs Small UAS Rule) примењује се на све кориснике дрона који имају хоби и кориснике који користе дроне за комерцијалне сврхе.

Морају испунити следеће услове:

- ⌘ обавеза регистрације дрона;
- ⌘ поседовање дозволе за управљање дроном,
- ⌘ максимална маса при полетању не сме бити већа од 25 килограма;
- ⌘ неопходно је имати визуелни контакт са дроном;
- ⌘ забрањено је летење у близини других ваздухоплова;
- ⌘ максимална висина лета је 122 метра,
- ⌘ забрањено је летење у контролисаној зони аеродрома, осим ако то одобри агенција.

5.4 Прописи на Исланду

Главна регулатива пословања на Исланду садржана је у документу Регулатива 990/2017. Забрањено је да се лети на висини 120 метара изнад нивоа земље без посебне дозволе Министарства саобраћаја Републике Исланд. Забрањено је летење дроном унутар одређене области од границе аеродрома без одобрења аеродрома. Није потребно посебно одобрење у случају да дрон лети испод висине највише структуре у непосредној близини пута беспилотне летелице.



Слика 127. Ваздушне границе Рејкјавика

5.5 Прописи у Јапану

Дрон је свака летелица који не може да прихвати путнике, може се контролисати даљински или аутоматски, осим летелице лакше од 200 грама.

У Јапану, Закон о ваздушном саобраћају регулише рад дронава. Закон забрањује летење дронава изнад стамбених објеката подручја или подручја око аеродрома без дозволе Министарства за инфраструктуру и саобраћај. Такође је забрањено летење дронавима ноћу и током спортских или других догађаја. У областима где нема ограничења, дронави морају да лете на висинама испод 150 метара и да буду најмање 30 метара удаљен од људи, других возила или зграда. Забрањен је и превоз опасних материја дронавима.

5.6 Прописи у Србији

Национална ваздухопловна власт у Републици Србији је Директорат цивилног ваздухопловства - ДЦВ. Најважнији домаћи пропис који се односе на дронаве је Закон о ваздушном саобраћају и Правилник о беспилотним летелицама. Члан 10. Закона о ваздушном саобраћају (бр.45/2015) каже да се беспилотни ваздухоплови, ваздухопловни модели, ракете и други летећи објекти могу користити у привредне, научне, образовне, спортске и друге сврхе тако да не угрожавају безбедност ваздушног саобраћаја. У Правилнику о беспилотним ваздухопловима ДЦВ прописује ближе услове за безбедно коришћење беспилотних летелица. Правилник о беспилотним ваздухопловима

Према максималној маси на полетању (МТОМ) беспилотни ваздухоплови се разврставају на следеће категорије:

- ⌘ категорија 1 - обухвата беспилотне ваздухоплове чија је максимална маса на полетању мања од 0,9 кг;
- ⌘ категорија 2 - обухвата беспилотне ваздухоплове чија је максимална маса на полетању од 0,9 кг до 4 кг (не укључујући 4 кг);
- ⌘ категорија 3 - обухвата беспилотне ваздухоплове чија је максимална маса на полетању од 4 кг до 25 кг (не укључујући 25 кг);
- ⌘ категорија 4 - обухвата беспилотне ваздухоплове чија је максимална маса на полетању од 25 кг до 150 кг.

У Евиденцију ваздухоплова коју води Директорат цивилног ваздухопловства Републике Србије се уписују:

- ⌘ све беспилотне летелице које припадају категоријама 3 и 4;
- ⌘ беспилотни ваздухоплови који припадају категорији 1 или 2 који се користе за летење на висинама већим од 100 м, летење у близини аеродрома, летење на хоризонталној удаљености већој од 500 м од оператера беспилотне летелице, летење изнад људи, летење у близини људи, летење у условно забрањеној зони, летење ноћу, избацавање течности или предмета или ношење спољног терета који није елемент структуре беспилотне летелице.

Упис у Евиденцију ваздухоплова врши се на захтев власника беспилотног ваздухоплова. Уз захтев за упис беспилотног ваздухоплова у Евиденцију ваздухоплова подноси се следећа документација:

- ⌘ доказ о плаћеној царини ако је ваздухоплов произведен у иностранству, односно оверена писмена изјава власника ако је ваздухоплов произведен у Републици Србији;
- ⌘ упутство произвођача за коришћење беспилотног ваздухоплова, на српском или енглеском језику;
- ⌘ уговор о осигурању од одговорности за штету која се употребом беспилотног ваздухоплова причини трећим лицима, у складу са законом којим се уређује обавезно осигурање у саобраћају.

Максимална дозвољена висина лета беспилотног ваздухоплова је 100 м изнад тла, осим ако је Директорат претходно одобрио да се лет обави на већој висини, иако је извршена алокација ваздушног простора. Максимална дозвољена хоризонтална удаљеност беспилотног ваздухоплова од оператера беспилотног ваздухоплова је 500 м, осим ако је Директорат претходно одобрио да се лет обави на већој хоризонталној удаљености иако је подносилац захтева доставио одговарајућу процену ризика. Није дозвољен превоз људи, животиња и опасне робе беспилотним ваздухопловом.

5.7 Дужност оператера беспилотне летелице

- ⌘ Дужан је да обезбеди да лет беспилотног ваздухоплова не угрожава живот, здравље и имовину људи, као и да не нарушава јавни ред и мир.
- ⌘ У обавези је да користи беспилотни ваздухоплов на начин којим се обезбеђује поштовање правила летења;
- ⌘ одговоран је да у случају када је алоциран ваздушни простор, лет беспилотног ваздухоплова у потпуности одвија у границама тог простора, као и да буде доступан надлежној јединици контроле летења ради евентуалног прекида лета.
- ⌘ Дужан је да се пре лета увери у исправност система беспилотног ваздухоплова, као и да провери количину погонског горива, тј. стање батерија, као и да обезбеди да сва опрема беспилотног ваздухоплова буде на одговарајући начин причвршћена.
- ⌘ Потребно је да прикупи све потребне информације за безбедно обављање планираног лета, да се увери да метеоролошки и остали услови у подручју лета обезбеђују његово безбедно извођење, као и да провери да ли је ваздушни простор претходно алоциран за потребе других корисника, односно да ли постоје ограничења за обављање планираног лета.
- ⌘ Дужан је да обезбеди да беспилотни ваздухоплов током лета буде безбедно удаљен од препрека.
- ⌘ Не сме да буде под утицајем алкохола или психоактивних супстанци, нити у таквом психофизичком стању које га онемогућава да безбедно управља беспилотним ваздухопловом.
- ⌘ Оператер беспилотног ваздухоплова мора да буде пунолетно лице, које је здравствено способно и које је положило проверу знања које је неопходно за безбедно коришћење беспилотних ваздухоплова.

6 Безбедност и припрема лета

Оператер беспилотног ваздухоплова је физичко лице које непосредно управља системом беспилотног ваздухоплова, контролише његов лет, програмира систем управљања беспилотним ваздухопловом и одговоран је за лет.

Оператер је одговоран и дужан да се увери да је дрон безбедан за употребу пре полетања. Пре сваке употребе дужан је да се увери да сви системи раде, да су батерије напуњене, да има конекцију са камером дрона. Такође, мора да провери и светлосне ознаке да ли су добре.

Оператер је дужан да провери све компоненте дрона, јер у случају квара или престанка батерије, дрон мора да буде уочен од стране људи.

Оператер беспилотне летелице дужан је да провери алоцирани ваздушни простор у коме ће лет бити обављен. Оператер треба да обрати пажњу да не нанесе оштећења другим летелицама и објектима, као и повредама људи.

6.1 Основни параметри за безбедно извршење лета дрона

Безбедносне радње које треба да буду обављене пре лета:

- ✂ Одабир ваздушног простора,
- ✂ Рроцена ризика (опасност од птица, другог саобраћаја, насељена места);
- ✂ Рроцена сопствених способности и компетенције (умор, стрес, алкохол);
- ✂ Рровера исправности дрона (провера светала, батерије, делова);
- ✂ Рровера софтверских компоненти (конекција са управљачем, безбедносна упозорења).

Када се све ове радње изврше, на управљачу дрона долази до обавештења да је дрон спреман за полетање и безбедну употребу.

Безбедносне радње које треба да буду обављене у току лета:











- ✂ Стално праћење безбедносних статуса дрона;
- ✂ Коришћење дрона у складу са његовим карактеристикама;
- ✂ Роштовање ваздушног простора,
- ✂ Управљање у домету дрона.

Безбедносне радње које треба да буду обављене након лета:

- ✂ Везбедно приземљење дрона;
- ✂ Рровера компоненти дрона;
- ✂ Везбедно одлагање дрона.

6.2 Безбедносни минимум и максимум

Безбедносни минимум у виду исправности компоненти издаје произвођач у виду **MMEL- Master Minimum Equipment List**. Оператер може на основу произвођачевог MMEL-а да дефинише свој безбедносни минимум који не сме да буде мање рестриктиван од произвођачевог.

Function	Equipment	Use	Picture
Driving	Coreless Motors	Drives the prop in small multi-rotors	 [22]
	Brushless Motors	Drives the prop and controlled by the Electronic speed controller	 [23]
	Electronic speed control (ESC)	Regulates the electrical power supplied to the motors, which is managed by the flight controller	 [24]
Power	LiPo Battery	Provides energy to the driving system, pilot system, and payloads	 [25]
Control & Communication	Antennas	Receives commands from the ground station (receiver antenna) and sends telemetry and other data (e.g. video) from the on-board system (transmitter antenna)	 [26]
	Ground Station	Sends operator commands to the UAV and receives real-time flight data	 [27]
Autopilot	Flight Controller	Controls the power of each motor and other systems depending on the data received from the sensors, as well as the commands from the ground station; can be a commercial standard device with open software or something developed for a specific solution	 [28]
	GPS	Establishes the geographic position of the RPAS	 [29]
	Barometer	Determines the distance from the sea level	 [30]
	Inertial measurement unit (IMU)	Integrated accelerometers, gyroscopes, and magnetometers. Determines the current rate of acceleration, changes in rotational attributes and orientation drift	 [31]

Слика 128. Листа опреме БПЛ



Слика 129. Опрема БПЛ

Безбедносни максимум је скуп свих хардверских и софтверских компоненти дрона који се користе за безбедно управљање. Оператер мора да обрати пажњу на то да је све у функционалном стању, као и да сви програми раде.

6.3 Начин и врсте припреме лета

Као што смо раније навели, постоје пар радњи којих се оператер беспилотне летелице мора придржавати. Приликом одабира ваздушног простора треба обратити пажњу на забрањене зоне, рељеф терена, насељена места, близину аеродрома и његових зона. Након одабира ваздушног простора потребно је извршити процену ризика као што је опасност од птица. Оператер треба да обрати пажњу да дрон не долази у контакт са птицама, као и са другим саобраћајем, зато што може да угрози безбедност лета. Дрон не би требало да долази у близину неког ваздухоплова, аутомобила, воза, брода и сл.



Слика 130 Пример небезбедног коришћења дрона

Сада када смо одабрали ваздушни простор, треба да се изврши процена сопствених способности и компетенција. Оператер да би управљао дроном не би требао да буде у алкохолисаном стању, као ни под стресом. Такође, треба да буде одморан и свестан сопствених могућности.

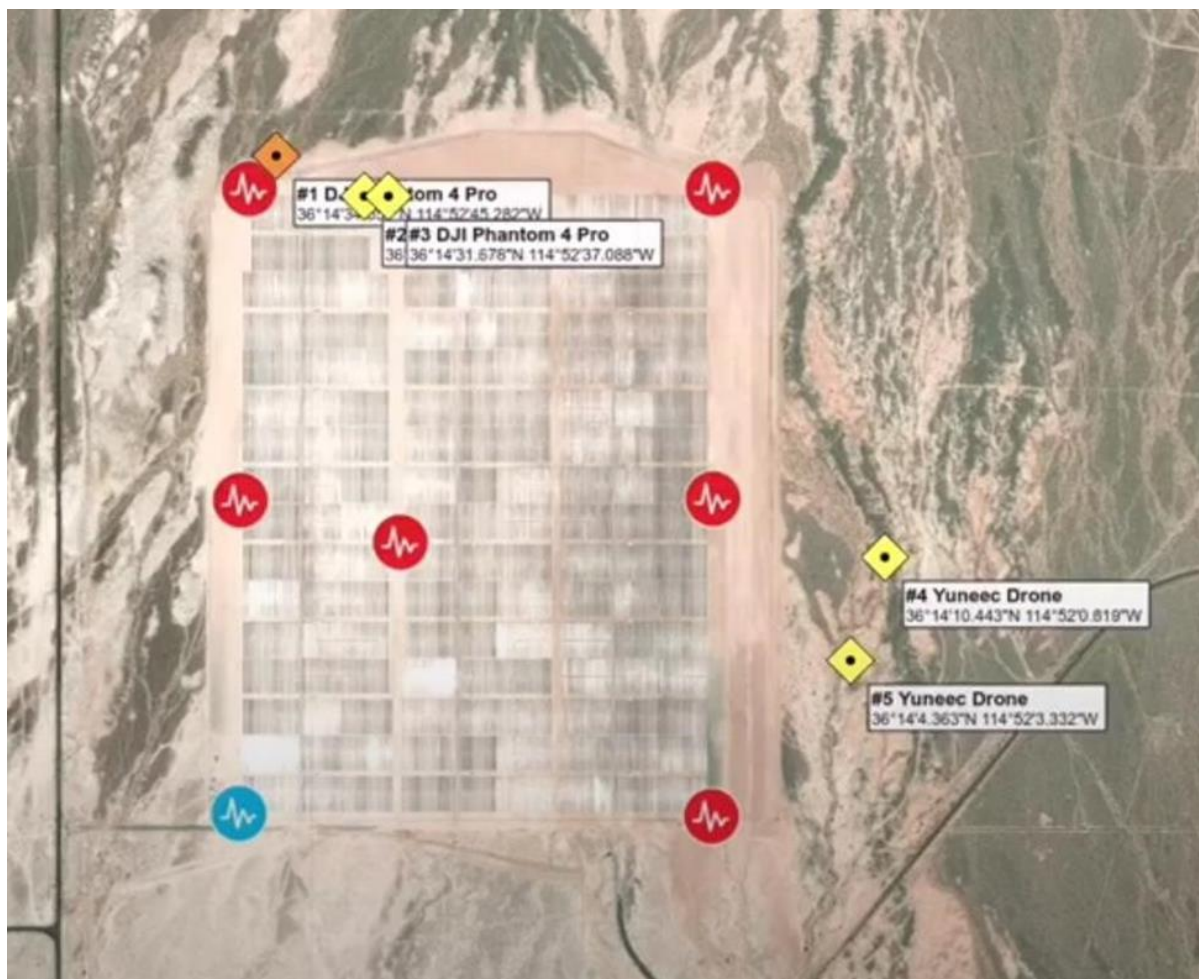
У проверу исправности дрона сврстава се свака провера хардверског дела дрона, тј. проверавају се исправности пропелера, провера светала, батерије, мотора, звучних сигнала, питот-статичких сензора, исправност камере, сензор нападног угла итд.

У проверу софтверских компоненти спада провера конекције са управљачем, провера безбедносних упозорења.

6.4 Начини избора врста управљања

На начин избора управљања дрона утичу следећи фактори:

- ⌘ временски услови;
- ⌘ опремљеност дрона;
- ⌘ способности (обученост) оператера;
- ⌘ намена и сврха лета;
- ⌘ удаљеност дрона од оператера.



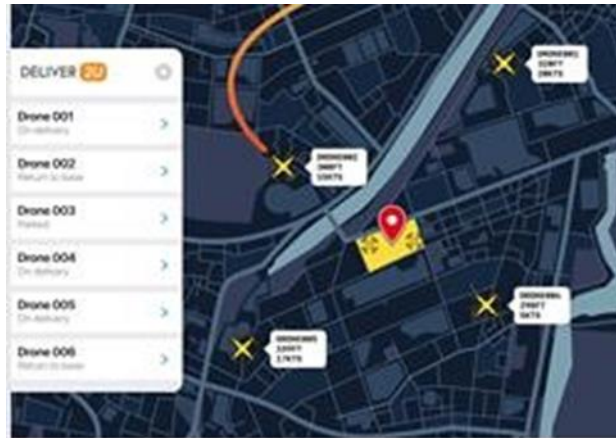
Слика 131 Раздаљина између дрона и оператора

6.5 Аутоматски лет по задатим координатама

Приликом програмирања руте оператор је дужан да зада координате полазне и крајње тачке, као и да одреди висину и плафон лета. Оператор треба да води рачуна да на путу између две задате тачке на датој висини дрон не угрожава безбедност околине. Такође, мора да обрати пажњу на перформансе дрона, као и његов максимални долет.

Уколико оператор не води рачуна о перформансама и карактеристикама дрона, дрон би активирао свој безбедносни систем и вратио би се на почетну тачку. Ова функција би омогућила дрону, када достигне свој максимум, да се безбедно уз помоћ програма и већ запамћених координата врати и самостално се приземљи на тачку полетања.

Ова функција би се могла још и користити у ситуацијама када дрoнови прелећу изнад опасних зона (прилазна, одлазна површина, војни објекти, електране, хидроелектране и др.).



Слика 132 Лет дрoнова по одређеним координатама

6.6 Слободан лет

Код слободног лета важно је да се напомене да је оператер дужан да у сваком тренутку има визуелни контакт са дроном и да поштује његове перформансе и долет. Потребно је да води рачуна о безбедносним обавештењима на управљачу и повремено гледа стање батерије. Регулативом је утврђено да је оператер дужан да се не помера са места полетања. Такође, забрањено је управљати дроном из возила у покрету.

У случају да оператер изгуби директан контакт са дроном и превазиђе његов домет или се сигнал са дроном изгуби, дрон би требало да активира свој безбедносни систем и аутоматски се врати на тачку полетања по већ познатим и упамћеним координатама.

6.6.1 Норме раздвајања

Норме раздвајања представљају вертикално и хоризонтално раздвајање дрона и осталих учесника у саобраћају, људи, животиња.

У норме раздвајања спадају:

- ⌘ међусобно раздвајање између два или више;
- ⌘ раздвајање између две или више групе дрoнова;
- ⌘ раздвајање дрoнова са осталим саобраћајем;
- ⌘ раздвајање дрoнова и људи и животиња;
- ⌘ раздвајање дрона и објеката од високог значаја;
- ⌘ раздвајање дрона од насељеног подручја.

Међусобно раздвајање између два или више дрoнова подразумева вертикално и хоризонтално раздвајање међу дрoновима. Дрoнови треба да буду на довољној удаљености, тј. таквој да не ометају рад један другог.

Раздвајање између две или више групе дрoнова представља вертикално и хоризонтално раздвајање између два или више система дрoнова, који међусобно не треба да утичу негативно једни на друге.

Раздвајање дрона са осталим саобраћајем представља вертикално и хоризонтално раздвајање између дрона и осталих превозних средстава (авиони, аутомобили, аутобуси, возови).

Раздвајање дрона и људи и животиња представља вертикално и хоризонтално раздвајање између дрона и људи и животиња. Регулацивом је утврђено да је вертикално раздвајање 100ft (30 м).

Раздвајање дрона и објеката од високог значаја представља вертикално и хоризонтално раздвајање између дрона и објеката од високог значаја. Овим се регулише забрана приласка музејима, аеродромима, затворима, банкама, војним објектима.

Раздвајање дрона од насељеног подручја представља вертикално и хоризонтално раздвајање између дрона и насељених подручја. Овим се подразумева забрана летења изнад густо насељених подручја.

6.7 Софтверско обезбеђење лета

Софтверски део система је компликован. Заснован је на одређеним функцијама које шаљу сигнале дрону и помоћу којих заправо контролишемо дрон. Да би унапредили тај систем потребно је осмислити које би нове функције помогле у очувању средине и безбедности.

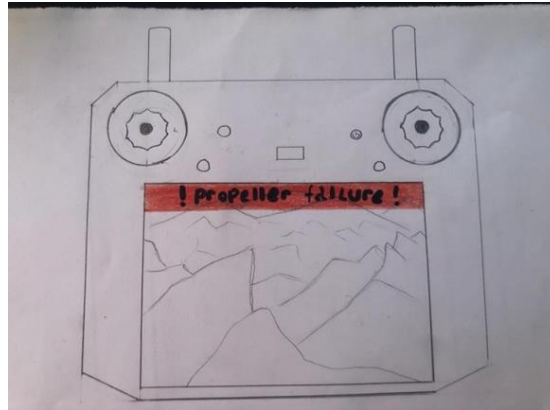
Софтверски програм би бранио дрону да прилази аеродромским површинама и објектима од високог значаја. На контролеру би излазило обавештење *аеродром у близини*. Ако оператер ни би послушао то обавештење и наставио пут ка аеродрому, софтвер би спречио то дело и вратио би дрон на почетну тачку полетања.

Обавештења која би се приказивала на контролеру:

- ⌘ Пажња! Приближавате се зони ограниченог приступа. (ако је аеродром или неки други објекат у питању);
- ⌘ Пажња! Ваздухоплов у близини. Померите дрон! (ако је дрон близу ваздухоплов)



Слика 133 Упозорење за ниво батерије



Слика 134 Обавештење за хитан случај

6.8 Избор радних фреквенција

При избору радних фреквенција треба обратити пажњу да не долази до преклапања са фреквенцијама који се користе за радио-навигационе уређаје. Радне фреквенције од неких уређаја су :

- ⌘ NDB (ADF) - радна фреквенција је 190-1750kHz.
- ⌘ ILS(Instrumental Landing System) - радна фреквенција је 108-112 MHz
- ⌘ VOR- радна фреквенција је 112-118 MHz
- ⌘ VHF комуникација 118-136MHz
- ⌘ DME радна фреквенција је 960-1000MHz
- ⌘ GPS радна фреквенција је 1575MHz

Дрон не би смео да ради на некој од фреквенција које су заузеле другим радио-навигационим средствима.



Слика 135 БПД у близини авиона

6.9 Технологија дрона и њена будућа употреба и примена

Дронови су беспилотне летелице, врста ваздушних возила која лете без стварног пилота или посаде. Често се називају авиони без пилота.

УАВ (беспилотна летелица) направљена је од лаких композитних материјала који смањују њихову тежину и повећавају њихову снагу и управљивост.

У почетку је дроне користила само војска, а сада их користе многи професионалци и појединци.

Дронови се користе у разним областима, као што су: грађевинарство, одбрана, фотографија, маркетинг, испорука, пољопривреда, спасавање, забава итд.

На овим теренима дроне играју виталну улогу и чине ствари лакшим и ефикаснијим.

Због неких ограничења летења дроном, не користи се у потпуности.

Индија има рекорд од 19.553 дроне, док остатак света користи више од 16 милиона дроне до 2020. године.

Постоје разне технологије дроне које се користе у различите сврхе.

1. Испорука производа
2. Ваздушни такси/ Хитна помоћ са дронима
3. Управљање катастрофама
4. Трагање и спасавање
5. Фотографија из ваздуха
6. Спровођење закона
7. Временска прогноза
8. Забава
9. Мониторинг дивљих животиња

Дрон Технологије

Постоје различите величине дроне, као и технологије. Неколико њих је наведено у наставку:

Вертикално полетање и слетање (ВТОЛ)

Сваки дрон није способан за вертикално полетање и слетање. Дронови су квадрокоптери који могу да полете, лете, лебде и слетети вертикално. Због тога се зове ВТОЛ. Постоје дроне који се могу лансирати са длана.

Технологија дрона за позиционирање радара

Ови дрони су опремљени технологијом двоструке навигације. Повезује се са групом навигационих сателита када је укључен. Ова сателитска констелација даје овом дрону тачне координате одредишта.

Технологија дрона за откривање препрека

Ова врста дрона је оптерећена многим сензорима за детекцију, као што су ултразвучни, сензор вида, инфрацрвени, лидар, монокуларни вид итд. Ови дрони скенирају околину и раде 3Д мапирање.

Технологија дрона за стабилизацију жirosкопа

Дрони опремљени жirosкопом који им омогућава несметано летење, ровер и слетање против било које спољне силе.

Технологија погона дрона

Ови дрони имају погонски систем који омогућава дрону да лети и лебди у било ком правцу.

ГПС технологија дрона

Овај тип дрона има ГПС систем који помаже у познавању локације у реалном времену и побољшава тачност.

Технологија преноса дроном

Такви дрони се користе за слање и примање података у реалном времену. Са увођењем 5Г мреже тачност и брзина преноса података у таквим дронима је многоструко побољшана.

Технологија дрона уживо

Ови дрони су опремљени камерама високе дефиниције које снимају и емитују видео у реалном времену (видео уживо) локација док лети на висини.

Употреба и примена технологије дрона

Технологије дрона имају велики значај у многим областима. Области попут изградње, одбране, снимања из ваздуха, маркетинг, испорука, пољопривреда, спасавање, забава садржи многе апликације дрона у реалном времену.

Неколико њих је наведено у наставку:

✂ Испорука производа

И за компаније за е-трговину и за мале предузетнике скупо је платити достављачу чак и за малу удаљеност ако је ефикасност мала. Дакле, дрон је боља замена за достављача за смањење оперативних трошкова. Дронови са ГПС-ом, преносом и технологијом жиро стабилизације користе се за доставу пакета на малу удаљеност. Не само да штеди радну снагу, већ и усмерава непотребан друмски саобраћај ка небу. Дронови се могу користити за брзу испоруку малих пакета, лекова, хране на малој удаљености.

✂ Ваздушни такси/Дрон Хитна помоћ

Ваздушни такси и хитна помоћ сада су захтев времена. Уз растућу забринутост за животну средину и саобраћај на путевима потражња за авио-таксијем расте. Такси дроном не само да смањује време путовања, већ и смањује емисију угљеника, настале трошкове и загушења у саобраћају. Ваздушна кола хитне помоћи помажу људима да брзо добију медицинску помоћ. Посебно у подручјима погођеним поплавама и загушеним локацијама хитна помоћ дроном може спречити веће штете.

✂ Управљање катастрофама

Дронови се могу користити за брзо слање средстава на локацију погођену катастрофом. Било да се ради о природним или људским беспилотним летелицама, могу да дођу најраније, снимају и шаљу информације, а могу тражити повређене и жртве. Беспилотна летелица са камерама и сензорима може дати бољи приказ локације високе дефиниције и досегнути до места загушења због своје мање величине.

✂ Потрага и спасавање

Дронови са термалним сензорима, инфрацрвеним камерама, камерама за ноћно гледање и уређајима за пренос, дронови могу да раде као јак систем надзора. Може да шаље информације у реалном времену о локацији изгубљених особа, несрећних жртава, криваца чак и на тешким и високим теренима.

✂ Фотографисање

Фотографија из ваздуха не само да даје детаљан приказ локације и субјекта, већ даје и информације о близини околина по много нижим трошковима. Комерцијални фотографи, картографи и геолози користе ове дронове да би боље разумели предмете.

✂ Спровођење закона

За велика јавна окупљања дронови држе надзор и обезбеђују безбедност масе.

⌘ Временска прогноза

Због своје маневарске способности, мале величине и снаге може се послати у случају временских непогода (торнадо, ураган) како би се добили прецизнији подаци о могућим временским неприликама. То може помоћи научницима за временску прогнозу да знају детаљне временске параметре. Дронови са термалним сензорима и жироскопом дају увид у временску путању.

⌘ Забава

Дрон са камерама високе дефиниције може помоћи при снимању крикета, фудбала и спортских утакмица из ваздуха. Кинематографи користе такве дронове за снимање животних слика и снимања из ваздуха.

⌘ Мониторинг дивљих животиња

Дронови се могу користити за праћење шумских резервата, резервата за дивље животиње и зоолошких вртова. Дронови могу слати информације о ловокрадицама. Такав УАВ са термалним сензорима и камерама за ноћно осматрање може да надгледа таква подручја и током ноћи. Може помоћи у посматрању дивљих животиња, а да им се не приближи и не нанесе штету

Важност технологије дронова је сасвим очигледна из претходне дискусије. Широки спектар технологија преноса апликација у реалном времену. Са већим капацитетом тежине, робусним и напредним технологијама, дужим летом трајање и управљивости, дронови могу бити много кориснији него сада. Интеграција различитих дронова технологије и широки спектар величина и капацитета оваквих дронова је неизбежна предност за предузећа, пољопривреду, управљање смећем и санитацију, праћење саобраћаја итд. Влада и предузећа би требало да изграде потребну инфраструктуру и креирају политику за реално време примене дронова. Актуелна питања/проблеми у развоју беспилотних летелица: постоје одређене области у којима су актуелна истраживања беспилотних летелица фокусирана.

Трошкови: иако су оперативни трошкови беспилотних летелица веома ниски у поређењу са авионима са посадом, ипак цена развоја појединих беспилотних летелица је веома висока. На пример, *јединична цена Глобал Хавк-а је 35 долара милиона, цифра која је више него утростручена ако се урачунају трошкови развоја* (Мерле, 2004).

Изддржљивост: иако тренутни УАВ-и имају издржљивост која је много већа од класичних авиона са посадом, то се и даље сматра минималним за УАВ. Седамдесетих година прошлог века прослеђена је идеја о летењу беспилотних летелица са сунчевом енергијом, али још увек нису у стању да повећају издржљивост како то захтева војска. Недавно УСАФ је покренуо програм под називом *Vulture Programme (Вултуре - Беспилотна летелица која може да остане у ваздуху 5 Године, 2008)* чија је сврха развој УАВ са издржљивошћу до пет година. Иако делује као роман идеја, развој у овом правцу десио се и пре првих беспилотних летелица способних да остану изнад површине пет година уз носивост од око 1000 лбс.

Аутономија: још једно питање суочавања са беспилотним летелицама је аутономија. Истраживачи покушавају да развију беспилотне летелице које могу да обављају већину својих функција самостално и мање се ослањају на човека у петљи. У ту сврху повећан Ц4И и унапређена вештачка интелигенција развијају се карактеристике са напреднијим и сложенијим системима на броду. *Аутономија замењује човека оператер у многим апликацијама* (Tsourdos White, & Shanmugavel, 2011).

Lockheed Martin развија беспилотне летелице са напредним Ц4И, који ће у већој мери бити аутономни. Иако дебата још траје у политичким кругови до колико аутономије треба дозволити беспилотним летелицама. *Напредак у авионици, навигацији заснованој на ГПС-у (Global Positioning System), техникама контроле лета и јефтиним електроника је додатно подстакла употребу беспилотних летелица у комерцијалним и војним применама. Будуће беспилотне летелице ће бити више аутономне од даљински управљаних извиђачких платформи које се данас користе.* Култура служења је озбиљно погођена појавом дронова. Веома мали број ових оператера дронова су волонтери, јер је већина изразила преференцију за летење у пилотској кабини, а не даљински (Fulghum, 1998, стр. 61–62). Иако нова генерација пилота, тачније оператери дронова, који су посебно обучени за беспилотне летелице могу имати мање примедби на то, али норме услуге су оспоравани.

Недостатак сателита: Сједињене Државе развијају велику флоту својих беспилотних летелица, али они не могу бити функционални у једном тренутку због ограниченог броја сателита у орбити. На пример, Сједињене Државе могу имати флоту од стотину Предатора, али сви они не могу бити оперативни одједном због овог ограничења. (Сирак, 2002). У 2001. и 2002. години, способност УСАФ-а је била да одржи оперативу само два Предатора и једног глобалног јастреба у Авганистану у једном тренутку (Хасик, 2008, стр. 42). Ова способност Сједињених Држава се значајно побољшала последњих година, али изазов и даље остаје.

Допуна горива у лету: истраживачи и програмери покушавају да развију УАВ-УАВ пуњење горивом у ваздуху у покушају да споје путању у вези са аутономијом беспилотних летелица. Нортхроп Груман посебно покушава да развије постројење за допуну УАВ-УАВ (Бигелов, 2010). Паралелни програм је развој беспилотних летелица на соларни погон како би се ублажили ефекти овог ограничења.

Стелт технологија: недавни циљ програмера је да развију *релативно прикривени, беспилотни ударни авион са оквир авиона изграђен од скоро 90 процената композитних материјала* (Sweetman and Cook, 2001, стр.59). У-2 су били успешан у значајном временском периоду у хладном рату само због способности Совјетског Савеза да пуца на доле. Уколико успеју у развоју беспилотних летелица које омогућавају стелт технологију, Сједињене Државе ће бити у бољем стању да прате активности оних држава које не пуштају америчке дронове у свој ваздушни простор као Кина.

Већи капацитет носивости: тренутно беспилотне летелице могу да носе терет који се не сматра *довољним* у војним жаргонима. Дакле, потражња је или да се повећа носивост постојећих беспилотних летелица или да се развију нови нуклеарних уређаја на њему, чиме се обезбеђује не само способност другог удара већ и ствара ефекат одвраћања.

Етичка питања: највеће етичко питање у коришћењу беспилотних летелица је колатерална штета. Често се постављају критике да оператер беспилотне летелице док седи хиљадама миља далеко у контролној соби не може прецизно да процени ситуација на терену. Испаливање пројектила на свадбеним церемонијама у Авганистану – где је култура пуцања у ваздух поводом среће хара – само је један пример таквих сценарија. Закључено је *Брокингово* истраживање из 2009. године да *број сугерише да је на сваког убијеног војника умрло и 10-ак цивила* (Биман, 2009.). Критичари изражавају забринутост да је то баш као *сценарио видео игре* и да *оператери сада могу безбедно да манипулишу бојним пољем из контролних соба удаљених на другом делу свету, као да играју видео игру* (Мухамед Надем Мирза, Ирфан Хаснаин Каусрани, Лубна Абид Али, *Беспилотне летелице: Револуција у пројектовању*). С друге стране, не може се порећи чињеница да је ово најбоље оружје доступно у арсеналу да се минимизира број цивилних жртава – у поређењу са авионима са посадом и жртвама изазваним ракете испалене са носача авиона повремено стационираних стотинама миља даље. Борбени авиони са људском посадом могу да ударају по позицијама зараћених страна у веома ограниченом временском интервалу. Али у случају беспилотних летелица, оператер може да сачека месецима док прати активности на терену и пронађе погодно време за покретање напада чиме се обезбеђује минимални број цивилних жртава. Сродни проблем је кршење међународног права. Преиначење услова суверенитета као један од главних делова Бушове докторине дао је Сједињеним Државама право да унапреде беспилотне летелице у операцијама у многим деловима света. Суверенитет је постао веома релативан појам у ери после 11. септембра посебно за слабије државе. Научници оспоравају ову позицију на основу тога што представља озбиљну претњу за међународно право и норми међународног друштва. Циљано убијање без икаквих суђења изазвало је мноштво етичких и правних питања. Циљ је да се повећа издржљивост беспилотних летелица на нове дужине са нуклеарних уређаја на њему, чиме се обезбеђује не само способност другог удара већ и ствара ефекат одвраћања на ратоборни. Етичка питања: највећи етички проблем у употреби беспилотних летелица је колатерална штета.

6.10 Развој за БПЛ

У Кини беспилотне летелице користиле су се за испоруке током пандемије. Кина је увела веома строге мере закључавања широм земље. Компаније као што су ЕХанг, ЗТО Експрес и DJI сада не само да побољшавају системе за испоруку беспилотних летелица широм Кине, укључујући развој већих беспилотних летелица како би повећали много тога шта могу да понесу, али се такође развија регулатива која ће омогућити експерименталним путничким беспилотним летелицама да раде у блиској будућности. У САД, ЕУ, као и у Кини, разматра се припрема прописа регулисања беспилотне летелице на великим удаљеностима и беспилотне летелице које раде аутономно.

Подручје све већег интересовања и развоја, такође, ће бити беспилотне летелице које се користе за прве интервенције, посебно у пружању помоћи у удаљеним регионима. Слично томе, Убер Аир, који је недавно продат, развија концепт ваздушних УАВ таксија у САД, иако регулатива и инфраструктура за ово ће потрајати неколико година у односу на промене у Кини. С обзиром на то да је Кина постигла значајан напредак у беспилотним таксијама и системима за испоруку, САД је недавно покушао да сустигне заостатак улагањем више у технологије и покушајима да се дозволи регулација да се сустигну.

Промене прописа се убрзавају у многим земљама у вези са беспилотним летелицама (дроновима), посебно како број беспилотних летелица и брзе промене технологије постају евидентне. За многе земље, посебно за САД и Кину, такође се посматра као трка која је део шире економске битке и конкуренција која се развија. За потрошаче, у блиској будућности ћемо вероватно видети да УАВ постају све чешћи и примењени у задацима као што су испоруке пакета или помоћи. Вероватно смо неколико година удаљени од путника у авиону који узимају беспилотне летелице, али регулативапромене значе да се у Европи, САД и Кини врше правне припреме како би то постало стварност у не сувише далека будућност.

Технолошки развој који нас је довео до дрона није престао само са њима. Проширио се све док се беспилотне летелице нису користиле само у војне сврхе. Најновија дешавања указују да постоји без заустављања ширења дрона на све врсте професија

6.11 Карактеристике слетања

Најновији дронави имају боље карактеристике слетања. Они су у могућности да дају кориснику већи приступ камери и бољи увид у географију и омогућавају кориснику да боље процени локацију за слетање. Ово је одлична карактеристика за војне сврхе.

Осим тога, ова функција омогућава равномерно и брзо ширење ногу дрона без заглављивања у објектима који га могу оштетити. Брзо слетање, такође, чини дрон ефикаснијим у раду и показује да корисник има бољу контролу над уређајем. Штавише, боље карактеристике слетања обезбеђују да је дрон удаљен од било каквог физичког оштећења у близини места слетања.

6.11.1 Унапређен систем контроле

Имати прецизан систем контроле је увек био проблем са технологијом дрона, али ствари су се промениле на боље. Ових дана курсеви за дрон од стране УАВ обуке омогућавају бољу контролу над дроном и значајно побољшане опште карактеристике контроле. Штавише, то је веома погодно. Оно што је узбудљивије је да дрона може контролисати било ко са паметног телефона или таблета. Најновији дронави се чак могу контролисати коришћењем ручних сатова. Људи који су параноични да њихов дрон може да уђе у иностранство увек могу да задрже контролу коришћењем ове функције. Такође, штити дрон од оштећења од случајних људи.

6.11.2 Дронови за децу

Као што је раније поменуто, дронови се не користе само у шпијунске или војне сврхе. Недавно се њихова употреба проширила на скоро све сфере живота. То је нова играчка за децу и нуди одлично ангажовање и развој моторичких вештина. Ако набавите дрон за своје дете, он ће га сатима креативно ангажовати. Деца која су заинтересована за фотографију могу да користе дрон и да га контролишу користећи свој паметни телефон. Ефикасност и практичност коју ова унапређења пружају неупоредиви су са било којом играчком коју су деца до сада користила.

6.11.3 Контрола судара

Ранији дронови нису имали карактеристике које би их спречиле да се сударе са објектима. То је резултирало великим бројем оштећења дрона, као и великим људским жртвама и трошковима. Увођење контроле колизије ово завршава проблем у целини. Контрола судара обезбеђује да се упозорење шаље кориснику када се дрон превише приближи неком објекту у које може да се залети. Овај систем упозорава корисника да промени правац дрона како би га држао подаље од оштећења. Упозорење послато на најновије контролне уређаје осигурава да се не догоди финансијска или физичка штета.



Слика 136 Слетање беспилотне летелице на длан

7 Ваздухопловни метеоролошки извештаји

Осматрања на ваздухопловним метеоролошким станицама врше се у току 24 часа сваког дана, осим ако то није другачије одређено посебним споразумом између органа задуженог за послове метеоролошког обезбеђења ваздушне пловидбе и корисника ваздухоплова.

На основу података добијених редовним осматрањем састављају се ваздухопловни редовни извештаји у којима су садржане следеће информације:

- ✂ Ознака врсте извештаја;
- ✂ Ознака локације аеродрома;
- ✂ Време осматрања;
- ✂ Правац и брзина приземног ветра;
- ✂ Даљина видљивости;
- ✂ Видљивост дуж полетно-слетне стазе (у случају неопходности);
- ✂ Садашње време;
- ✂ Количина и врста облака (у извештајима у облику отвореног текста са скраћеницама приказују се само облаци кумулонимбуси на или у близини аеродрома);
- ✂ Висина базе облака;
- ✂ Температура ваздуха и температура тачке росе;
- ✂ Вредност ваздушног притиска на нивоу мора (QNH);
- ✂ Вредност ваздушног притиска на нивоу аеродрома (QFE).

Извештаји редовних осматрања могу се корисницима достављати у облику шифри или у облику отвореног текста са скраћеницама.

7.1 METAR извештај

Назив **METAR** потиче из француског језика, од скраћеног назива **MÉTéorologique Aviation Régulière** ("message d'observation météorologique régulière pour l'aviation"), *редовни временски извештај за авијацију*.

Као светски стандард усвојен је 1996. године. Релативно је лак за разумевање, јер се користе скраћене енглеске речи.

METAR је назив за редован ваздухопловно–метеоролошки извештај аеродрома, који се саставља и размењује међу аеродромима у следећем облику.

(Ове теме су снимљене на телевизији и налазе се на каналу РТС ПЛАНЕТА –дуално образовање – ваздухопловна метеорологија-метеоролошки извештаји и друге лекције под називом врсте облака.)

		METAR	Идентификација врсте извештаја
		CCCC	Локатор аеродрома
(T'T'/T'dT'd)	Температура ваздуха на ПСС	GGgg	Час и минут извештаја
	Температура тачке росе на ПСС	ddd	Правац ветра у степенима
		ff	Брзина ветра у чворовима
		fmfm	Максимална брзина удара ветра
(PhPhPhPh)	Притисак QNH	VVVV	Најмања видљивост
		R	Индикатор групе
		VrVrVrVr	Видљивост дуж ПСС
		DrDr	Правац ПСС на коју се видљивост односи
		W'W'	Значајно време у часу осматрања
		Ns	Количина слоја облака
		CC	Врста слоја облака
		hshshs	Висина слоја облака

7.1.1 Објашњење значења група у извештају METAR

- ⌘ CCCC – четворословни индикатор аеродрома на коме је састављен извештај METAR; прво слово је увек L (locator), друго слово је почетно слово државе исказано на енглеском језику; задња два слова су узета из назива аеродрома (LYBE = Београд).
- ⌘ dddff/fmfm – ова група обично садржи пет цифара, од којих прве три означавају правац ветра у степенима 0° до 360° (ddd), а друге две брзину ветра у чворовима (ff); седам цифара у групи даје се само када ветар дува на ударе (fmfm).

- ⌘ VVVV – група за хоризонталну видљивост на аеродрому изражена у метрима; ако ова није иста у свим правцима, даје се њена најмања вредност. 9999 означава видљивост преко 10 км.
- ⌘ R V r V r V r V r / D r D r – група за видљивост дуж ПСС, где је (R) словна ознака за ову групу, D r D r значи правац протезања ПСС на коју се видљивост односи (даје се за аеродроме који имају више ПСС).
- ⌘ W'W' – за кодирање значајних појава, у часу осматрања на аеродрому, користе се двословне ознаке које углавном представљају, прва два слова, појаве на енглеском језику.
- ⌘ N s C C h s h s h s – група за облачност, где N s означава количину облака која се овом групом даје у извештају. C C је врста облака, а h s h s h s висина базе облака. Врста облака се назначавала у извештају латинским скраћеницама за облаке које већ познајемо. C I – цирус, A C – алтокумулус, N S – нимбостратус, C B – кумулонимбус. Висина облака даје се у једнаким интервалима од по 30 м (100 стопа). Група облака може да се понавља неколико пута у случају када изнад аеродрома има више слојева облака, тада се у извештају са групом за облачност даје најнижи слој облака без обзира на количину, други виши слој даје се ако је његова количина 3/8 или већа, а трећи виши ако је његова количина 5/8 или већа.
- ⌘ C b се увек шифрује без обзира на количину.

Када је небо невидљиво због магле или други услова ограничене видљивости, група за облачност се шифрује на следећи начин: 9//002 = небо невидљиво; вертикална видљивост 60 м. Уколико не постоји податак за вертикалну видљивост, група се шифрује са 9//xxx.

- ⌘ T'T'/T'dT'd - група за температуру ваздуха и температуру тачке росе.
- ⌘ PhPhPhPh - група за притисак QNH која се даје са четири или три цифре.

Када на аеродрому владају следећи метеоролошки услови:

- ⌘ видљивост 10 км или већа;
- ⌘ нема облака испод 1500 м или испод највишег нивоа секторске висине (која је одређена за сваки аеродром);
- ⌘ нема C b;
- ⌘ нема падавина, грмљавине, танког слоја магле или снежне вејавице, тада се, уместо група VVVV R V r V r V r V / D r D r , W'W' , N s C C h s h s h s даје реч 'CAVOK' што значи *siling and visibility o.k.* (висина базе облака и видљивост у реду).

Уколико се у METAR извештају након ознаке за време када се издао извештај појави реч AUTO, значи да је извештај издала Аутоматска метео станица.

- ⌘ AUTO - Аутоматска метео станица
- ⌘ Ако у извештају нема овог кода, то значи да је извештај саставио и издао човек.
- ⌘ Ако уместо кода AUTO стоји код COR, то значи да је из неког разлога издат исправљен METAR извештај.

Квалификатор		Временски феномен		
Интензитет или брзина 1	Опис 2	Падавине 3	Засеђење 4	Остало 5
– Слабо	MI Површан	DZ Росуља	BR Сумаглица	PO Ковитлаци прашине или песка
Умерено	PR Делимичан	RA Киша	FG Магла	SQ Вихор
(напомена 2) + Јако	BC Прамен	SN Снег	FU Дим	FC Торнадо (напомена 3)
VC У близини	SH Пљусак	IC Ледени кристали	DU Прашина	SS Пешчана олуја
(напомена 3)	TS Олуја	GR Град	UP SA Песак	DS Олуја са прашином
	FZ Смрзавајући	Непознате падавине	HZ Смог	

Напомене:

1. Временске групе се конструишу у секвенци 1-5 из горње табеле, тј. Интензитет, затим Опис, па Падавине итд. На пример, јак пљусак ће се кодирати као +SHRA.
2. За умерени интензитет се не користи никакав симбол.
3. Торнадо се увек кодира као +FC.

7.1.2 Пример редовног извештаја

METAR за аеродром Београд

METAR LYBE 1630 24015 Kmh 0600 R1000 42 FG 3SC010 17/16 1018

Извештај у скраћеном отвореном тексту за Београд

MET REPORT LYBE 1630 240/15 Kmh VIS 600M RVR 1000M FG 3/8 300M T17 DP16 QNH 1018

Значење оба извештаја: Редовни извештај за аеродром Београд у 1630 UTC; смер приземног ветра 240 степени; брзина ветра 15км/ч; видљивост 600 м; RVR 1000 м; магла; 3/8 облака рода Stratocumulus на 300 м; температуре ваздуха 17°C; температуре тачке росе 16°C; QNH 1018 hPa.

7.2 Специ изештај

Осим редовних метеоролошких осматрања, на ваздухопловним метеоролошким станицама врше се и специјална метеоролошка осматрања. Добијени подаци специјалних осматрања користе се за састављање специјалних извештаја који су намењени аеродромским службама за вођење ваздушног саобраћаја.

Извештаји о резултатима специјалних осматрања могу послужити и за састављање одабраних специјалних извештаја у случају када дође до промене појединих метеоролошких елемената и то:

- ⌘ када се промени правац и брзина ветра (укључујући и ударе ветра);
- ⌘ када даљина видљивости и видљивост дуж полетно-слетне стазе достигне одређене границе;
- ⌘ при почетку, престанку или при промени интензитета појава као што су грмљавине, град, снег са кишом, прехлађене падавине, ношени снег, прашинске и пешчане олује, вихори, торнадо и водене пијавице.

СПЕЦИ је специјални ваздухопловни метеоролошки извештај. Има исти облик као и METAR извештај, само се саставља и доставља у виду специјалног упозорења када се висина базе облака или видљивост или ветар погоршавају, односно побољшавају до одређених граница. На аеродромима на којима се метеоролошки елементи и појаве осматрају сваких пола сата и на основу тих осматрања састављају и достављају METAR извештаји, СПЕЦИ извештаји се не састављају.

7.2.1 Пример специјалног извештаја

СПЕЦИ за аеродром Ниш

SPECI LYNI 1115 05025/37KT 2500 95TS 7CB005

Извештај у скраћеном отвореном тексту:

SPECI LYNI 1115 050/25KT MAX37 MNM10 VIS 2500M TS 7/8 CB 500FT

Значење оба извештаја: Одабрани специјални извештај за аеродроме Ниш у 1115 UTC; смер приземног ветра 50 степени; брзина ветра 25 чворова са ударима до 37 чворова; видљивост 2500 м; олуја са грмљавином; 7/8 облак рода Cumulonimbus на 500 стопа

7.3 Метеоролошке прогнозе у ваздухопловству

Код метеоролошког обезбеђења ваздушног саобраћаја један од најважнијих задатака је прогнозирање појава и метеоролошких елемената који се јављају при непосредном летењу ваздухоплова. Припрема карата значајног времена за ове нивое почиње прогнозама метеоролошких поља добијених из модела. Оне треба да садрже стање облачности, видљивост, ниво мржњења и турбуленцију. Познавање вредности за ветар и релативну влажност неопходни су за израчунавање вертикалне и хоризонталне видљивости и базе облака. Ниво замрзавања рачуна се применом МОСметода, коришћењем дебљине слоја релативне топографије.

За прогнозу појаве турбуленције, температуре и орографских ефеката, користи се адвекција температуре и профил ветра. За планирање летова и за непосредно обезбеђење летења за период од једног часа па до једног дана користе се краткорочне или врло краткорочне прогнозе метеоролошких елемената и појава. Ваздухопловне прогнозе времена припремају се за аеродром, област аеродрома, за слетање и полетање, ваздушне линије, област летења.

У свим овим прогнозама садржане су карактеристике облачности (количина, висина, доња база облака), падавине, значајне појаве, даљина хоризонталне видљивости, правац и брзина ветра, температура ваздуха, висина изотерме 0°C, положај и висина тропопаузе, покривеност планина облацима, итд.

7.3.1 Прогноза за полетање

Требало би да буде припремљена од стране метеоролошке канцеларије одређене од стране метеоролошких власти. Прогноза за полетање треба да се односи на специфичан период времена и треба да садржи информације о очекиваним метео условима изнад ПСС-а са подацима о ветру на ПСС-у и његове промене, температуре, притиску (QNH) и осталим елементима у складу са локалним договором.

Метео прогноза за полетање треба да буде достављена операторима и члановима летачких посада на њихов захтев у оквиру од 3 часа од предвиђеног времена полетања.

Метеоролошке канцеларије које припремају прогнозу за полетање треба да врше стално ажурирање података и када је то потребно, одмах издају одговарајуће допуне. Критеријуми за издавање допуна за прогнозу за полетање, за ветар на ПСС-у, температуру и притисак и остале договорене елементе, треба да буде договорена између метеоролошких власти и заинтересованих оператора. Критеријум би требало да буде усклађен са одговарајућим критеријумима за специјалне извештаје који су успостављени за аеродроме у складу са одговарајућим одредбама о издавању.

7.3.2 Прогноза за подручје и руту

Требало би да садржи ветар на висини, температуру на висини, значајне временске појаве на рути са одговарајућим облацима који су у вези. Остали елементи могу бити додати у складу са захтевима. Те информације би требало да покривају лет за који су намењене уз уважавање времена, висине и географског простирања.

Метеоролошке канцеларије које припремају прогнозу за подручје и руту требало би да врше стално праћење промена и издају додатке према потребама.

7.3.3 Прогноза за аеродром

Припрема метеоролошка канцеларија коју одређују метеоролошке власти.

Прогноза за аеродром требало би да буде издата у одређено време и да садржи концизне извештаје о очекиваним метеоролошким условима на аеродрому за одређено време.

Постоје два вида прогнозе времена за аеродром:

- ⌘ Двочасовне прогнозе времена које се ослањају на текуће време, а следе после редовног метеоролошког извештаја МЕТАР. Ове прогнозе се дају под називом **тренд прогнозе**.
- ⌘ Прогнозе времена за аеродром са важношћу од 9, 18 или 24 часа дају се под називом **ТАФ прогнозе**. Код ових прогноза постоји одређени временски период између времена издавања и времена почетка њихове употребљивости.

У припреми састављања прогнозе времена за аеродром, потребне су:

- ⌘ информације о почетним метеоролошким условима, добијене мерењима или израчунавањима величина свих потребних метеоролошких елемената на аеродрому и његовој широј околини за одговарајући период времена као и у претходном времену од термина састављања прогнозе;
- ⌘ познавање закона и правила којима су подређени поједини метеоролошки елементи у локалним размерама.

Прогноза за аеродорм и додаци требало би да буду издати у складу са шаблоном у ТАФ форми кода и садрже следеће информације редоследом којим су набројане:

- ✂ кодни назив TAF/ TAF AMD;
- ✂ ознаку локације;
- ✂ датум и место издавања прогнозе;
- ✂ ознаку недостајуће прогнозе, када је то применљиво;
- ✂ датум и период важења прогнозе;
- ✂ ознаку поништене прогнозе када је то могуће;
- ✂ ветар у приземљу;
- ✂ видљивост;
- ✂ појаве;
- ✂ облачност;
- ✂ очекиване значајне промене једног или више ових елемената у периоду важности.

Додатни елементи ће бити укључени у прогнозу за аеродром у складу са регионалним ваздухопловним договорима.

За анализу почетних метеоролошких услова користи се приземна карта на којој је убележен ограничен број осматраних или измерених метеоролошких елемената, и висинске карте које обезбеђују податке о вертикалном распореду метеоролошких параметара.

Метеоролошке канцеларије које припремају прогнозу за аеродром су у обавези да исту стално прате и када је неопходно, издају одговарајуће додатке. Дужина метеоролошке поруке и број промена приказаних у прогнози требала би бити одржана на минимуму.

Аеродромске прогнозе и њихове исправке које се размењују између аеродромских ваздухопловних метеоролошких служби дају се: по ТАФ кључу који је прописала Светска метеоролошка организација (у облику отвореног текста са скраћеницама), помоћу телепринтерских знакова чије је значење договорено између заинтересованих метеоролошких органа.

7.3.4 Прогноза за слетање

Припрема је метеоролошки биро одређен од стране надлежних метеоролошких власти. Таквим прогнозама се задовољавају захтеви локалних корисника и посада ваздухоплова који се налазе на око један сат лета од аеродрома.

Прогноза за слетање биће припремана у облику ТРЕНД прогноза, као што је одређено регионалним ваздухопловним споразумима.

ТРЕНД прогноза састојаће се од сажетог извештаја о очекиваним значајним променама метеоролошких услова на том аеродрому који се додаје локалном редовном или локалном специјалном извештају, МЕТАР или Специ извештају. Период важења ТРЕНД прогнозе биће два сата од термина извештавања (локалног редовног извештаја, локалног специјалног извештаја, МЕТАР или СПЕЦИ) који је део прогнозе за слетање.

7.3.5 ТАФ и ТРЕНД прогноза

ТАФ је кодирана прогноза времена за аеродром, а саставља се по међународном кључу, при чему се основне словне групе из МЕТАР извештаја понављају у прогнози ТАФ. Аеродроми који имају организовану прогностичку службу, издају ТАФ прогнозе за 9 часова. Аеродромска прогноза ТАФ са кључевима за дешифровање прогнозе залеђивања и турбуленције има следећи облик:

Информација	Ознака аеродрома	Време		Ветар			Хоризонтална видљивост	Појаве	Облаци		
		ОД	ДО	Правац	Брзина	Максим			Количина	Врста	Висина
ТАФ	CCCC	G ₁ G ₁	G ₂ G ₂	ddd	ff	f _m f _m	VVVV	W'W	Ns	C	hshshs

Температура			Залеђивање				Турбуленција			
индикатор	час	температура	индикатор	интензитет залеђивања	висина	дебљина	индикатор	врста	висина	Дебљина
(0	G _f G _f	T _f T _f)	(6	I _c	hihihi	t _e)	(5	B	h _h h _h h _h	t _e)

Шифра кључа	Ис (кључ 1733)	В (кључ 0300)
	Интензитет залеђивања	Врста и интензитет турбуленције
0	Нема залеђивања	Нема турбуленције
1	Слабо залеђивање	Слаба турбуленција
2	Слабо залеђивање у облаку	Умерена у ведром, повремена
3	Слабо залеђивање у падавинама	Умерена у ведром, учестала
4	Умерено залеђивање	Умерена у облацима, повремена
5	Умерено залеђивање у облаку	Умерена у облацима, учестала
6	Умерено залеђивање у падавинама	Умерена у ведром, повремена
7	Јако залеђивање	Јака у ведром, учестала
8	Јако залеђивање у облаку	Јака у облацима, повремена
9	Јако залеђивање у падавинама	Јака у облацима, учестала

7.3.6 Примери аеродромских прогноза

а) ТАФ у шифарском облику

TAF LYBE 0918 13010 9000 6Sc020 GRADU 1316 3000 50DZ 8St006

б) ТАФ у отвореном тексту са скраћеницама

FCST LYBE 09/18 130/10 KT VIS 9KM 6/8 2000FT GRADU 13/16 VIS 3000M DY 8/8 600FT

Значење (оба):

TAF: аеродромска прогноза;

LYBE: аеродром Београд;

0918: важност прогнозе од 0900 до 1800 сати UTC;

13010: приземни ветар 130° 10 чворова;

9000: хоризонтална видљивост 9 km;

6Sc020: 6/8 Sc облак на висини 2000 ft (код отвореног типа изоставља се тип облака);

Аеродромска прогноза у облику отвореног текста са скраћеницама треба да се означи са FCST, а њена исправка са AMD FCST. Редослед елемената и терминологија, јединице и скале које се користе у аеродромским прогнозама у облику отвореног текста са скраћеницама, треба да буду исте као оне које се користе у ваздухопловним редовним и ваздухопловним специјалним извештајима о времену за исти аеродром.

ТРЕНД прогноза за слетање састоји се од редовног, специјалног или одабраног специјалног извештаја за аеродром коме се додаје сажети приказ очекиваног тренда метеоролошких услова на том аеродрому. Период важности ТРЕНД прогноза за слетање износи два сата од времена на који се односи извештај и који чини део прогнозе за слетање.

У ТРЕНД прогнозама за слетање означавају се промене једног или више елемената: приземни ветар, видљивост, значајно време и облаци. Укључују се само они елементи за које се очекује промена. Ако се не очекује промена, то се означава са изразом NOSIG (No Significant Change), како у METAR кључу тако и у верзији са отвореним текстом.

Ако се прогнозира одређена промена вредности неке од наведене четири величине, онда се то означава коришћењем следећих група:

TTTTT GG ggHR dddff/fmfm VVVV w'w' NsCCHshshs

- ⌘ TTTTT – индикатор промене
- ⌘ GG ggHR – група за време, којој без размака претходи један од словних индикатора TT = FM (од), TL (до) или AT (у), употребљава се за означавање времена почетка (FM) или завршетка (TL) прогнозиране појаве или времена (AT) када се очекује настанак специфичних прогнозе услова.

Остали чланови имају исто значење као и у METAR извештају, укључујући и могућност употребе скраћенице CAVOK.

Индикатор промене BECMG користи се за описивање очекиваних промена метеоролошких услова који досежу или прелазе одређене прагове наведених критеријума, без обзира на начин промене. Промене метеоролошких услова који досежу или прелазе одређене прагове наведених критеријума за ТРЕНД прогнозе назначавају се као што следи:

- ⌘ када се прогнозира да ће промена почети и потпуно се завршити у периоду ТРЕНД прогнозе: помоћу индикатора промене BECMG, иза којег следе словни индикатори FM и TL, појединачно са њиховим придруженим групама за време, да би се указало на почетак и завршетак те промене (нпр. за период ТРЕНД прогнозе од 1000 до 1200 UTC у облику: BECMG FM1030 TL1130);
- ⌘ када се прогнозира да ће се промена догодити на почетку периода ТРЕНД прогнозе и завршити пре краја тог периода: помоћу индикатора промене BECMG, иза којег следи само словни индикатор TL и његова придружена група за време (словни индикатор FM и његова придружена група се изоставља), да би се указало на завршетак те промене (нпр. BECMG TL1100);

- ☞ када се прогнозира да ће промена почети у току периода ТРЕНД прогнозе и завршити се на крају тог периода: помоћу индикатора промене ВЕСМГ, иза којег следи само словни индикатор FM и његова придружена група за време (словни индикатор TL и његова придружена група за време се изоставља), да би се указало на почетак те промене (нпр. ВЕСМГ FM1100);
- ☞ када је могуће навести време када ће се промена догодити у току периода ТРЕНД прогнозе: помоћу индикатора промене ВЕСМГ, иза којег следи словни индикатор AT и његова група за време, да би се указало на време те промене (нпр. ВЕСМГ AT1100);
- ☞ када се прогнозира да ће се промене догодити у поноћ по UTC, време се назначава помоћу: □ 0000, када је удружено са FM и AT □ 2400, када је удружено са TL.

Када се прогнозира да ће промена настати на почетку периода ТРЕНД прогнозе и да ће се завршити до краја тог периода или када се прогнозира да ће се промена догодити у току периода ТРЕНД прогнозе, али није извесно време те промене (можда одмах после почетка, на средини или при крају тог периода), промена се назначава само помоћу индикатора промене ВЕСМГ (словни индикатори FM и TL или AT и придружене групе за време изостављају се).

Као индикатор промене службене скраћенице (GRADU, RAPID, TEMPO, INTER и TREND) употребљавају се на следећи начин:

- а) GRADU - употребљава се ако се очекује да промене наступе у приближно константном односу током целог прогностичког периода или у току његовог одређеног дела;
- б) RAPID - употребљава се уместо GRADU када се очекује да промене наступе у току периода који је краћи од пола часа;
- ц) TEMPO – употребљава се када се очекује да промене трају у периоду краћем од једног сата и промене наступају довољно ретко за преовлађујуће услове дате у овом извештају;
- д) INTER ће бити употребљено ако се очекује да ће се промене јављати учестало у кратким временским периодима, а услови ће се непрекидно колебати између оних у извештају или оних у претходном делу прогнозе, као и оних у прогнози;
- е) TREND ће се употребити ако ниједан од израза GRADU, RAPID, TEMPO и INTER није примењен. Неће се користити ако је неки други индикатор, већ употребљен у претходном делу.

Словна скраћеница NSW (нема значајног времена) користи се за назначавање престанка значајних метеоролошких појава уместо групе w'w'. Да би се назначила промена на *ведро*, користи се скраћеница SKC (ведро небо). Када се прогнозира да неће бити облака испод 1500 м (5000 ft) или испод највише минималне секторске висине, у зависности од тога шта је веће, прогнозирају се облаци рода Cumulonimbus, а CAVOK или SKC не одговарају, користи се скраћеница NSC (нема значајних облака).

Индикатор RMK означава почетак дела кључа који садржи информације које се у извештај укључују на основу одлуке на националном нивоу и нису предвиђене за међународну размену.

Пример прогнозе за слетање у шифрираном облику и облику отвореног текста са скраћеницама – ТРЕНД прогноза која се даје уз МЕТАР извештај:

Прогноза за слетање у шифарском облику:

METAR LYBE 1930 05009KT 5000 1023 TEND 3000 10 BR

Прогноза за слетање у облику отвореног текста:

MET REPORT LYBE 1930 050/09 VIS 500M QNH 1023 TENF 3000M BR

Овај пример говори о истој прогнози само у два различита облика, па ће се значење односити на оба:

METAR: извештај о актуелном времену;

LYBE: аеродром Београд;

1930: у 1930 UTC;

05009KT: приземни ветар 050° брзине 9 чворова;

5000: хоризонтална видљивост 5 км;

1023: ваздушни притисак на нивоу мора 1023 hPa;

TEND: развој (тенденција) времена за наредних два сата;

3000 10 BR: хоризонтална видљивост у сумаглици 3000 м.

8 Литература

Quan Quan, Xunhua Dai, Shuai Wang – Multicopter Design and Control Practice 2019.

Quan Quan – Introduction to Multicopter Design and Control 2017

Oral lectures by Mr. General Milan Orasani at an open webinar

<https://www.dw.com/en/a-guide-to-military-drones/a-39441185>

<https://www.avweb.com/aviationnews/amazon-formally-applies-for-drone-delivery/>

<https://www.euractiv.com/section/agriculture-food/news/eu-farmers-unlock-potential-of-agricultural-drones-or-risk-falling-behind>

<https://dronevideos.com/how-drones-will-be-used-in-the-future-of-the-film-industry>

<https://www.rcgeeks.co.uk/blogs/news/eachine-wizard-x220s-full-setup-guide>

<http://cad.gov.rs/> <https://www.easa.europa.eu/> <https://www.eurocontrol.int/>

<http://dronelawjapan.com/> <https://www.productionhub.com/blog/post/drones-and>

[their-impact-in-the-film-industry https://www.suasnews.com/2017/02/amazon-](https://www.suasnews.com/2017/02/amazon-delivery-parachute-patent/)

[delivery-parachute-patent/](https://www.suasnews.com/2017/02/amazon-delivery-parachute-patent/)

<http://cad.gov.rs/upload/Propisi/2020/Pravilnik%20o%20bespilotnim%20vazduhoplovima.pdf>

[https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7200.23A_Unmanned_Aircraft_Systems_\(UAS\).pdf](https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Order/JO_7200.23A_Unmanned_Aircraft_Systems_(UAS).pdf)

<https://terra-drone.eu/en/articles-en/eu-drone-regulations-explained-for-dummies/>

<https://www.icetra.is/aviation/drones/>

https://www.faa.gov/uas/media/Part_107_Summary.pdf

<https://www.easa.europa.eu/document-library/notices-of-proposed-amendment/npa-2017-05>

<https://www.researchgate.net/figure/NATO-UAS-Classification->

[12_fig1_305760970](https://www.researchgate.net/figure/NATO-UAS-Classification-12_fig1_305760970)

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Unmanned_aerial_vehicle

<https://www.drone.net.tr/blog/zirai-insansiz-hava-araci-1275.html>

И други сајтови и часописи