

Начални практики в ракетостроенето Ракетни системи – защо една ракета лети и как?

Ивайло Димитров, Димитър Атанасов, Димитър Дудренов, Петър Златев, Йоана Кабакова

Народна астрономическа обсерватория и планетариум – Варна
Математическа гимназия „Д-р Петър Берон“
Първа езикова гимназия, бул. Владислав 80, Варна 900, п.к. 208

Резюме. В проекта разглеждаме най-важните моменти в историята маркиращи големите стъпки и открития в ракетостроенето. Представени са различните видове ракети спрямо най-важните фактори. Горивото като един от главните фактори дели ракетните модели на три вида, различаващи се до основите на техния дизайн.

Представени е как работи една ракета, като се имат пред вид най-важните закони и теория на ракетостроенето. Използвайки законите и проучванията за видовете ракети и условията, в които се използват, представяме дизайна на ракета, който сме избрали. Достигнати са определени параметри като максимална височина, максимална скорост и ускорение.

Подобряването на устойчивостта на нашата планета е много важно затова ние базираме конструкцията на нашия модел около рециклиране и използване на по-дружелюбно за природата гориво. Рециклирането се изразява в използване на компоненти за минимална цена или от предмети които иначе биха били изхвърлени след употреба. Така показваме достъпността на подобен експеримент, както и че в основата на подобно проявено въображение се крие и развитието на по-екологична технология.

С проведените експерименти и построен модел, ние достигаме до важни заключения нужни за подобряването му и евентуалното създаване на по-голям работещ модел, способен да съдържа авионика която да измерва атмосферни данни. Демонстрационният филм на проекта може да бъде видян на уеб-адрес: <https://www.youtube.com/watch?v=lowXsMILDVE>

Ключови думи: ракета, гориво, модели

Въведение

С тази разработка ние се докоснахме до основите на ракетостроенето, тъй като то представлява интерес за нас не само от техническа гледна точка, но и като главен метод до момента за активното изследване на космоса.

В проекта ще разгледаме най-важните моменти в историята маркиращи големите стъпки и открития в ракетостроенето. В детайлност ще бъдат показани различните видове ракети спрямо най-важните фактори. Горивото като един от главните фактори дели ракетните модели на три вида, различаващи се до основите на техния дизайн. Ще бъде обърнато внимание на положителното и негативното във всеки от тези дизайни, тъй като това по-късно помага за избирането на нашия дизайн за модел ракета. Според броя на етапите, през които минава една ракета, те също се делят на няколко вида, като е интересно по какъв начин това повлиява цялостния дизайн, и защо това беше важно за нашия избор.

Целите ни са да опознаем ракетните системи, да обобщим основите им и да приложим наученото на практика. Ще обясним как работи една ракета, запознавайки се

с най-важните закони и теория на ракетостроенето. Използвайки законите и проучванията за видовете ракети и условията, в които се използват, ще представим дизайна, който сме избрали. Той е теоретически доказан, като най-важните елементи като максимална височина, която ще достигне, максимална скорост и ускорение, ще бъдат показани.

Подобряването на устойчивостта на нашата планета е много важно затова ние базираме конструкцията на нашия модел около рециклиране и използване на по-дружелюбно за природата гориво. Рециклирането се изразява в използване на компоненти за минимална цена или от предмети които иначе биха били изхвърлени след употреба. Така показваме достъпността на подобен експеримент, както и че в основата на подобно проявено въображение се крие и развитието на по-екологична технология.

С нови идеи идва и нуждата от финансиране. Подбуждайки интереса на хората се надяваме да допринесем за по-голямо бъдещо финансиране. Космическата индустрия се нуждае от средства за нови разработки, изследвания и модели. Както през 60-те и 70-те години на миналия век обществото активно се е интересувало от напредъка на ракетостроенето и опознаването на космоса, така и в момента е нужно да има внимание към тази насока.

С нашите опити и построен модел, достигнахме до важни заключения нужни за подобряването му и евентуалното създаване на по-голям работещ модел, способен да съдържа авионика която да измерва атмосферни данни.

1.Основна концепция на проекта

Целите на нашия проект са да опознаем като цяло ракетните системи, като запознаем и читателите с тях. С нашият проект ние не само ще разучим и обобщим основите на ракетните системи, но и практически ще приложим наученото. За да демонстрираме наученото ще изстреляме малка ракета, направата на която ще стане от рециклирани материали. За всеобща безопасност ще изстреляме ракетата на открито и отдалечено от всякакви постройки място. Но преди да започнем с изстрелването на ракетата първо ще покривем нужната теория и свързаните с това изчисления.

Ракетните системи включват тяло, двигател, товар, стабилизатори, гориво, горивни камери и запалителна система. За да обясним как работи една ракета първо ще се запознаем с третият закон на Нютон, който гласи, че „Всяко действие си има равно по сила и противоположно по посока противодействие“. Той описва основния принцип на действие на всяка една ракетна система. Следователно ни трябва по-голяма сила от тази на земното притегляне и на въздушното съпротивление, която ще получим от тягата.

Има три вида ракетни системи – с твърдо гориво, с течено гориво и хибридни. Системата с твърдо гориво се състои от гориво и от запалител. Тази система е най-опростена от трите, но има ниска ефективност, тягата е трудна за управление и са скъпи за повторна употреба. Може лесно да се манипулира площта на горене. Системата с течено гориво използва най-често водород или кислород за гориво и течен оксидант. За разлика от системата с твърдо гориво тази с течено има висока ефективност, но системата е по-сложна което води до повече възможности за повреди. Следващи са хибридните системи, те използват твърдо гориво и течен оксидант и са предпочитани пред течните системи, защото са по-опростени, по-безопасни и тягата може да се контролира, но естествено за различни цели се предпочитат различни двигатели спрямо ефективността им в дадени обстоятелства.

Според броя двигатели и начина по който те биват използвани ракетите се делят на едноетапни и многоетапни. Едноетапните ракети използват един единствен двигател с една или повече горивни камери.

Многоетапните ракети се състоят от повече от един двигател които могат да бъдат паралелни или последователни. Последователните използват два или повече етапа на горене като всеки етап е отделен двигател. След изгарянето на първия етап, той бива изхвърлен, след което втория етап започва своята работа и дава тяга на оставащата част от ракетата и т.н. Паралелните двигатели имат два или повече етапи, които работят едновременно. По време на издигането някои от етапите биват изхвърлени докато други остават до по нататъшен момент от полета.

Вече споменахме за ефективността на двигателите. Единият от начините за измерване на ефективността на един двигател е чрез специфичният импулс, който зависи от условията през които се движи дадената ракета. Формулата на изчисляване на специфичният импулс е $Isp = \frac{V_e}{g}$. Както се забелязва, стойността на специфичният импулс зависи от земното притегляне, а то намалява с увеличаване на разстоянието между обекта (в случая ракетата) и повърхността на Земята. До 100км тази промяна е незначителна и може да се пренебрегне, но след преминаване на тази граница следва значително отслабване на земното притегляне. Една ракета трябва да има достатъчно тяга, за да преодолее гравитационните сили на Земята. Тягата генерирана от една ракета смятаме по формулата за реактивен двигател $F = \dot{m}V_e + A_e(p_j - p_a)$, където F е тягата, \dot{m} – масата за единица време, V_e – скоростта с която се отделят изгорелите газове, A_e е площта на дюзата, $p_j - p_a$ е разликата между налягането на газовете и на атмосферното налягане. В случая на ракетен двигател стойността на $A_e(p_j - p_a)$ е почти нищожна в сравнение с останалите стойности и затова се причислява към компонента от силата $\dot{m}V_e$ и като формулата за ракетна тяга се получава $F = \dot{m}V_e$, където V_e е ефективна скорост, или скоростта с която изгорелите газове напускат дюзата на ракетата..

От тези зависимости се извлича уравнението на Циолковский за изминато разстояние $S = V_e * \frac{M}{\dot{m}} \left[1 - \frac{M}{M_0} \left(\ln \left\{ \frac{M_0}{M} \right\} + 1 \right) \right]$

2. Методология за внедряване

Разработването на нашия проект премина през няколко етапа, всеки от които от голямо значение за постигането на крайните цели, а именно разбиране на принципите които описват работата на една ракета и приложението им при построяване на наши модели с малки и средни размери. Първата стъпка от нашето изследване беше да опознаем най-общо историята на ракетостроенето. Един от най-важните аспекти, към който беше обърнато повече внимание е изменението на технологията на ракетостроенето през годините с цел да се проследи промяната на тяхната конструкция.

За да разберем как една ракета произвежда силата да преодолее земната гравитация бе нужно да се навлезе в ракетна теория, а именно зависимостите които описват нейната работа. Много важно беше теорията описваща най-основно физиката свързана с изстрелването на една ракета да бъде усвоена. Именно това беше следващия етап, тъй като тази теория е фундаментална за ракетостроенето. За целта бе проведена серия от лекции насочени специално към запознаването на зависимостите между тягата, масата, изминатата височина на една ракета както и математиката която е нужна за тяхното пресмятане. Разгледахме и някои примери описващи истински ракети и

ракетни двигатели, за да добием най-добра представа за важността на тези зависимости както и за важността на всеки отделен параметър на ракетата.

Материалите използвани за ракетата са лесно достъпни и могат да бъдат рециклирани. Тя се състои от тяло, стабилизатори, конус, контейнер за горивото, начин за запалване със закъснение, уред за измерване на достигнатата височина, гориво и насочващо средство за излитане.

Тялото на ракетата е от лек, тънък, но и същевременно здрав и устойчив на високи температури метал. То е дълго 24.5 см и е с диаметър 2.4 см. Към него са закрепени стабилизаторите. Те са три на брой разположени вертикално по дължина на ракетата в близост до нейното дъно. Същевременно те са достатъчно отдалечени от дъното където поради изхвърлянето на нагорещените изходни газове може да се очаква силно нагриване на двигателната капсула и изложената част от тялото на ракетата. На върха на тялото има избор между елипсоидно тяло от корк и конусовидно закрепено тяло от дърво. Те не дават особена разлика в аеродинамиката на ракетата и имат средна дължина 2 см, като тялото от корк е по-леко. Теглото на цялото тяло на ракетата с вички свои компоненти, без двигателната капсула е 52 грама.

Двигателите които ползваме са два вида във формата на капсули, които могат да бъдат заменени след използване за следващото изстрелване. Първият вид е фабрично изработен двигател, специално създаден за любителско ракетомоделиране. Той е с цилиндрична форма с дължина 6.7 см и диаметър 1.8 см. Такива двигатели не са в производство повече от 20 години, когато са се произвеждали във кибритената фабрика в Костенец. Той е с тяга от 10N за времетраене от 4с по спецификация. Ракетния двигател е със разширяваща се дюза увеличаваща ефективността. Теглото му преди запалване е приблизително 45 грама, а горивото в него с тегло 30 грама.

Втория вид двигатели, който използваме, използва така нареченото „захарно гориво” или „карамелено гориво”. Те представляват празни гилзи, чиито ударни капсули липсват. Това позволява мястото където по принцип е ударната капсула да се използва като стеснен изход за изгорелите газове, получавайки се по голяма тяга. Захарното гориво съдържа 65% калиев нитрат който служи за оксидант и 35% готварска захар. Това гориво се характеризира с 5-10мм/сек скорост на горене и специфичен импулс в идеален вариант около $I_{sp} = 120$ сек. Теглото на празна капсула е 8 грама, а добавеното гориво в нея е приблизително 27 грама.

Захарното гориво може да има няколко начина на приготвяне като това до голяма степен влияе на начина и силата, с която то гори. Единия начин е просто смесване на чист калиев нитрат с съответното количество захар, като двата елемента предварително биват стрити на прах и пазени от контакт с въздух, тъй като са хидроскопични. При нужда калиевият нитрат може да се изпече за да се осигури липсата на навлажняване, което влияе негативно на крайната смес. Крайния продукт после се компресиращ със сила в тялото на ракетата или горивната капсула преди запалване. Ние тествахме този метод и достигнахме до извода, че трудно се достига до хомогенна смес, тъй като смесването е желателно да става на ръка, без електрически уреди. Сместа горя бързо и силно, но с варираща сила, като изгарянето става неравномерно.

Другия начин за приготвяне на горивото е с бавно разтапяне на захарта, след което оксидантът, в случая калиев нитрат, бива постепенно смесен докато се получи хомогенна смес. Важно е да се внимава захарта да не се карамелизира, като това понижава качествата на горивото. Ползвите от този метод на направа са, че сместа става хомогенна и е възможно геометрията след втвърдяване на горивото да се контролира. Ние направихме такива двигатели във вид на капсули като по подобие на истинските ракети използвани в космическите мисии, в горивната камера има кухина увеличаваща площта на горене и съответно правеща двигателя по ефективен и с по-голяма тяга.

Използвайки формулите за специфичен импулс, за ефективна скорост и уравнението на Циолковский, изчислихме максималната височина, на която трябва да се издигне нашия модел при използването на двата двигателя. Фабрично произведения двигател би издигнал ракетата на височина $s = 926\text{м}$, докато ако ракетата е с двигателите от захарно гориво тя би достигнала до височина $s = 281\text{м}$.

За да запишем изменението на височината на финалния модел за тестване разчитаме на авиониката. За разлика от сложните системи внедрени при други летателни апарати използваната от нас е опростена и сведена до абсолютният минимум, който обаче покрива всичките ни нужди. Авиониката се състои от микроконтролера Arduino Mini и съвместим с него датчик за налягане. Контролера приема данни от датчика и ги записва с честота на запис 50Hz върху външна карта памет. Всяко вписване съдържа кореспондиращо време позволявайки да се изведе информация за скорост и ускорение. Изчислената от нас резолюция на датчика е 20см, което е достатъчно малко за да намали произволните грешки и шум давайки едни по-точни отчитания. След полет данните биват свалени на компютър където използвайки международният стандартен атмосферен модел (ISA) биват преобразувани в съответните височина, скорост и ускорение.

3. Социално значение

През 60-те 70-те години на миналия век протича „Космическата надпревара“. Тя заинтригува голяма част от населението на Земята поради което в ракетостроенето биват влагани много ресурси. По-нататък обществото започва постепенно да губи интерес към ракетостроенето и изследването на космоса, и вместо това технологиите се развиват повече в други насоки. Тъй като финансирането намалява хората нямат нужните ресурси за осъществяването на своите нови идеи в областта на ракетостроенето, затова технологията за направата на ракети търпи стагнация. Хората не виждат изгода от финансирането на ракетостроенето, не виждат как това ще улесни животът им или как това е добра инвестиция като цяло. Забравили са защо е бил предизвикан интересът към космоса преди не толкова далечни времена, когато всеобщото вълнение покрай ракетостроенето е бил факт. Именно заради това с нашия проект целим да повишим интереса на хората към тази наука. Ние искаме да върнем интереса на обществото към ракетостроенето и изследването на космоса, така както е било и по времето на „Космическата надпревара“.

4. Устойчивост

Устойчивият дизайн е основополагащ на всеки един проект в модерното инженерство. В нашият проект показваме, че можем да направим функционална ракета рециклирайки вече използвани материали. Това не само, че намалява изхвърлянето на вредни материали в околната среда, но и намалява разхода на парични ресурси за покупка на

нови материали. Така показваме че не е толкова недостъпен експериментът, следователно ако се интересува аудиторията и има амбиция, не трябва да бъде въспирана от финансовите си възможности. Важното не е да се закупят най-скъпите материали, а да се разбира от материала, което позволява и проявяването на въображение. Именно това е нужно за по-екологичното мислене-рециклиране и по-екологично чисти материали. Също така горивото използвано за ракетата се състои от калиев нитрат и захар, която при своето изгаряне не отделя вредни за околната среда вещества. Обърнали сме, също така, внимание към мерките за сигурност, които всеки начинаещ или напреднал в любителското ракетостроене е задължително да взима при провеждане на своите експерименти и изстрелвания.

5. Заключение

След проучванията и тестовете заключихме, че е съвсем възможно от лесно достъпни и евтини материали да се направи ракета модел. Използваните от нас ресурси, включително с нужни инструменти, не надвишиха 25 лева.

От началните цели които бяха поставени, повечето са достигнати. Теоретичната част от проекта беше покрита в кратък период от време, което беше добра предпоставка за практическата разработка и тестове. Успешно бяха проведени тестове със захарно гориво, където отбора успя да изведе данни за бързината на горене. Данни за специфичния импулс бяха взети от други източници. Използвайки научените формули и взети данни от горивата и масите на ракетата беше направена приблизителна оценка на скоростта, ускорението и с получените стойности изведена теоретичната височина на която би трябвало да достигне ракетата.

Ние успяхме да направим един опит тествайки нашия модел, използвайки фабричен двигател специално за любителски ракетен моделизъм. За жалост опита беше неуспешен, но това ни даде много важна информация за промените които са нужни за да се подобри модела. След възстановяване на ракетата, кратък анализ показва, че капсулите се нуждаят от по голяма здравина поради високите температури. Опитът също така показва, че теоретично изведените стойности нямат големи отклонения. След отстраняване на този проблем, ще се проведат следващи опити, като разбира се всички мерки на безопасност ще бъдат взети.

Започнато е построяването на следващия, голям модел, значително увеличен размер на сегашния. Размера на тялото му е диаметър 5.5см, дължина на тялото 80см и дължина на горивната капсула 20см. Големия модел няма да бъде завършен преди провеждането на успешно изстрелване на малката ракета. В този модел е предвидено използването на авиониката за вземане на измервания за височина, атмосферно налягане и скорост, тъй като ардуиното е значително по-голямо и се нуждае от толкова голям модел за да бъде монтирано без да влияе на максималната маса и по важно на аеродинамиката на ракетата.

Някои от трудностите, срещнати при направата на проекта, бяха свързани с времето и пространството, които са нужни за провеждане на практическата част. Като начало приготвянето на гориво, дори със най-обикновена захар, е опасно и е нужно да се смесва при точно контролирани температури и задължително не със газов нагревател. Също така количеството което се смесва трябва всеки път да е минимално,

така че ако се получи възпламеняване то да бъде овладяно възможно най-бързо с помощта на пожарогасител.

Друг проблем представлява нуждата на „захарното гориво” да бъде използвано възможно най-скоро след приготвяне. След изчакване на приблизително 24 часа то да се втвърди идеалният вариант за използване е веднага, тъй като оксидантът който използваме е хидроскопичен. Ако остане прекалено дълго време в контакт с атмосферата, горивото и оксидантът се навлажняват, намаляйки се тяхната ефективност. Това ни дава много малък прозорец от време, в който ракетата трябва да бъде изстреляна. Заедно с нуждата от подходящо и безопасно място това представлява голяма пречка от гледна точка на време и транспорт.

6. Литература

1. Ashish Tewari, “ADVANCED CONTROL OF AIRCRAFT, SPACECRAFT AND ROCKETS”, 2011 John Wiley & Sons
2. GEORGE P. SUTTON, “Rocket Propulsion Elements”, Seventh Edition , , OSCAR BIBLARZ, 2001 by John Wiley & Sons
3. Jack N Nielsen, “MISSILE AERODYNAMICS”, 1960 McGraw-Hill Book Company INC
4. Martin J. L. Turner, “Rocket and Spacecraft Propulsion”, Principles, Practice and New Developments (Third Edition), Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 2009
5. Richard Nakka, “Richard Nakka’s Experimental Rocketry Web Site”, <http://www.nakka-rocketry.net/>