

ПРОТОТИП НА ПРОТИВОПОЖАРНА РАКЕТА „ДРАКОН“

Христофор Скандалиев^{1,2}, Калин Крумов^{1,2}, Томислав Скандалиев^{1,2}, Нели Сивева^{1,2}

¹Химикотехнологичен и металургичен университет - София

²Клуб за аерокосмически технологии „Зодиак“ - Кюстендил

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com;

Ключови думи: Противопожарни ракети, ракетни горива, аерокосмически технологии

Резюме: Ракетата "Дракон" е прототип на изделие за противодействие на пожари в труднодостъпни извънградски местности чрез залпова стрелба от разстояние. Изработена е от биоразградими материали, а двигателят съдържа нетоксичен пиротехнически гасителен състав. Извършени и описани са контролирани наземни и полетни тестове за доказване на работоспособността на прототипа в условия максимално близки до реална пожарна ситуация.

PROTOTYPE OF FIRE EXTINGUISHING ROCKET "DRAGON"

Hristofor Skandaliev^{1,2}, Kalin Krumov^{1,2}, Tomislav Skandaliev^{1,2}, Neli Siveva^{1,2}

¹University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia

²Club of aerospace technologies "Zodiac" – Kyustendil

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com; kkrumov@uctm.edu

Keywords: Fire extinguishing rockets, rocket propellants, aerospace technologies

Abstract: "Dragon" is a prototype of a rocket for fighting wildfires in hard-to-reach suburban areas by firing from a distance. It is made of biodegradable materials and the rocket motor contains a non-toxic pyrotechnic extinguishing composition. Controlled ground and flight tests were performed and described to prove the operability of the prototype in conditions as close as possible to a real wildfire situation.

Въведение

В последните десетилетия се регистрира възникването на огромен брой масивни горски пожари в много райони на света, респективно в страните от ЕС и особено в южната част на съюза. България попада в тази част на континента и също не е пощадена от тези бедствия. Като най-вероятна причина много изследвания посочват климатичните промени. Основният проблем при пожарите в горски местности е свързан с много бързото разпространение на фронта на пожара и последващото изключително трудно, рисково и скъпо овладяване на разрасналия се пожар. В този аспект, ранното засичане и изборът на подходящи средства за противодействие са ключови фактори за бързо овладяване и недопускане на по-нататъшно разрастване на пожара. Традиционните противопожарни методи често се оказват неефективни и неприложими, особено когато става въпрос за пожари в труднодостъпни и планински местности [6,9]. Единственото възможно решение често се оказва атакуването на пожара от въздуха със специализирана авиационна техника. Този подход, обаче предполага разполагаемост с летящи машини – самолети и вертолети, наличието в близост на подходящ голям воден басейн за зареждането им, летателни планове и разрешения, екипажи, финансов ресурс и още редица други необходими условия. Осъществяването на такава сложна логистика отнема много ценно време, през което огнището на пожара вече се е разпространило и потушаването му става в пъти по-трудно.

Иновативен подход от последно поколение за бързо реагиране и незабавно пренасяне на пожарогасителни вещества в отдалечени местности от голяма дистанция е използването на залпова стрелба със специално конструирани ракети от мобилни пускови установки. Въпреки,

че този метод не е особено популярен, по него се работи усилено в последните години, а в някои държави като Китай например, вече има създадени подобни установки, макар и за употреба в градска среда за пожари, възникващи във високите етажи на небостъргачи [4,5,8,9].

Разглежданата тук противопожарна ракета „Дракон“ е плод на изследванията, провеждани от 2015 г. насам от екип студенти и преподаватели от Химикотехнологичен и металургичен университет, София и членове на Клуб за аерокосмически технологии „Зодиак“ в Кюстендил. Тези изследвания са насочени както към разработване на подходящи аерозолни пожарогасителни състави, така и за създаване на биоразградими композити за корпусите, носовите обтекатели и вътрешната архитектура на самите ракети.

Същност на концепцията за противопожарни ракетни системи

Основната роля на ракетите за противодействие на пожари е доставянето от разстояние на подходящ гасителен състав до огнището на пожара по балистична траектория. Това по същество са неуправляеми изделия, базирани на пускова установка за залпов огън, която се насочва в необходимата посока и чрез познатите от балистиката методи за пресмятане се задава точна траектория за достигане на желаната точка на въздействие. Тъй като въпросите за аеродинамиката и определяне на точния път за полет на ракетите до целта е разгледан детайлно в много от учебните програми по външна балистика, за целите на конкретното противопожарно приложение на ракетите са по-важни самите конструктивни материали, които ги изграждат, вътрешната архитектура на основните гравитни блокове и пиротехническата система за задвижване и аерозолно пожарогасене [10]. На фиг.1 е показана опростена схема на противопожарна ракета с основните възли от нейната конструкция.



Фиг. 1. Обща блокова схема на противопожарна ракета

Основният елемент, заемащ най-голямата част от ракетата е пиротехническият заряд, създаващ гореща смес от аерозоли и газове при изгарянето си. За разлика от студените прахови гасителни агенти, които се съхраняват под налягане в контейнери, аерозолно-газовата смес при метода на горещо гасене се създава от изгарянето на твърд заряд, който може да се съхранява при нормални атмосферни условия дълго време, без специални изисквания. Това е много важно предимство по отношение на готовността за употреба на изделията по всяко време. Друго важно преимущество са ниските нива на ODP (Ozone Depletion Potential) и GWP (Global Warming Potential), в сравнение с използваните масово през XX в. халиди и нискотемпературни прахови агенти [7].

При окислително-редукционната реакция, протичаща в камерата на гасителния заряд, се получават колоидни частици с диаметър под $1 \mu\text{m}$, което е в границите на съществуване на Бруновото движение (под $3-5 \mu\text{m}$) и това им придава висока дифузионна способност, както и дълго време на задържане при проникване в зоната на горене на пожара, респективно по-дълго време на гасително въздействие. Механизмът на гасене е едновременно физически и химически. Проникващите аерозолни частици привличат чрез многослойна физическа абсорбция водородни и хидроксилни радикали, поддържащи горенето и намаляват повърхностната им енергия, което постепенно спира верижната реакция на горене в зоната на пожара. Освен това, газовете отделяни при действието на гасителния заряд (основно H_2O пари, CO_2 , N_2 , CO) потискат действието на кислорода и намаляват температурата в зоната на пожара [7].

Гасителният заряд обикновено е твърда хетерогенна смес от окислител алкален нитрат и редуктори, които могат да бъдат различни видове захариди, вещества с голямо съдържание на азот, прахообразни леки метали, като алуминий и магнезий, и други технологични добавки. При това, химическата същност на гасителното въздействие се определя от последователно протичане на поредица от химически реакции между продуктите, отделяни при окислително-

редукционната реакция на гасителния състав и компонентите, осъществяващи горенето в зоната на пожара. При тези рекомбинаторни реакции първо се образува метален карбонат, който последователно се разгражда до метален оксид, след това до метален хидроксид, поглъщащ водородните радикали и след това до чист метал, реагиращ с хидроксилните и кислородните радикали, отново до метален оксид. Последните няколко химични реакции са ендотермични, което допълнително снижава температурата в зоната на въздействие [7].

Конструктивно изпълнение на прототипа „Дракон“ и получени тестови данни

1. За гасителен състав в ракетите „Дракон“ е използвана формула, базирана на окислител калиев нитрат, а редуктори са комбинация от плодови захари, прахообразен магнезий и азодикарбонамид. Последният осигурява високо съдържание на азот в продуктите на горене, а магнезиевият прах поддържа необходимите температура и скорост на изгаряне на състава и стабилизира като цяло редокс процеса. На фиг. 2 е представена извадка от пресмятанията, направени със специализираната софтуерна програма PROPEP3, симулираща процеса на горене на базовия гасителен състав и показваща разпределението на получаваните продукти от изгарянето.

```
*****EXHAUST RESULTS FOLLOW *****
T(K) T(F) P(ATM) P(Psi) ENTHALPY ENTROPY CP/CV GAS RT/V
1284 1852 1.00 14.70 -147.47 174.98 1.1402 2.423 0.413
SPECIFIC HEAT (MOLAR) OF GAS AND TOTAL = 9.727 14.001
NUMBER MOLS GAS AND CONDENSED = 2.423 0.374
6.958624e-001 H2O 4.362448e-001 H2 4.356319e-001 CO 4.345100e-001 N2
4.098460e-001 CO2 2.913910e-001 K2CO3* 8.221685e-002 MgO& 9.502669e-003 KNO
0.00106875 K
```

Фиг. 2. Резултати от моделиране на горене с програма PROPEP3, на изхода на горивната камера

Представени в масови части, продуктите от изгарянето на 1kg такъв състав, са както следва:

K2CO3* - 402,73g	CO2 – 180,44g	H2O – 125,39g
CO – 122,12g	N2 – 121,86g	MgO& - 36,33g
Други съединения и елементи, общо – 11,13g.		Заб. * - течна фаза, & - твърда фаза

От проведените огнегасителни експерименти се установява, че използването на 1 kg огнегасителна смес е съизмеримо с гасителното действие на 20-25 литра вода. Ако се приеме, че една пълноразмерна противопожарна ракета пренася 20 kg гасителен заряд, то тя може да замени използването на до 500 литра вода, а батарея от 40 броя ракети, които може да се изстрелят за няколко минути от дистанция, би спестила усилията на един противопожарен автомобил и целият му екип за дотигане на пожарното огнище на километри разстояние и то в пресечена труднодостъпна местност [4,5].

2. Двигателят на ракетата конструктивно е изпълнен в общ корпус с основния гасителен заряд, което осигурява ред предимства, свързани с икономията на градивни материали, работна площ в изделието, намаляване на масата и габаритите му, и не на последно място – осигуряване на горивна камера за пиротехническата гасителна смес. Той може да бъде еднорежимен, или двурежимен, в зависимост от желаната далекобойност на ракетата. За по-къси дистанции може да се използва само стартов двигател, даващ необходимата тяга и начална скорост на изделието, което продължава полета по зададената балистична

траектория. При необходимост от достигане на по-големи дистанции, двигателят може да включва втора (маршева) част за допълнително ускоряване по време на полета.

Съставът на горивото на двигателната част е близък до този на пожарогасителната, но той осигурява по-висока скорост на горене и висок специфичен импулс. И двата състава се формират чрез директно отливане на разтопена смес в корпуса на двигателя. Първо се отлива гасителната смес като монолитен заряд, а след нея в задната част на двигателя се отлива стартовия заряд, изпълнен с горивен канал с подходящо изчислена форма и размери, които да осигуряват необходимата горяща повърхност за осигуряване на зададената тяга [3,4].

3. Корпусът на ракетата „Дракон“ е направен от биоразградим ламинатен композит на базата на естествени влакна и смоли, и се явява едновременно и горивна камера за пиротехническите състави. Той е ключов елемент от конструкцията, защото трябва да осигурява добра аеродинамичност на изделието при полет, добра топлоизолация, както от вътрешността на камерата, така и като защита от външното въздействие при попадане в огнището на пожара. Неговите оптимални конструктивни размери са получени чрез компютърно симулиране процесите на горене вътре и отвън на стените му, и посредством експериментални тестове в реално създадена работна среда [1,2].

Проведени са поредица от летателни експерименти само на изделието без гасителен заряд по свободна траектория, както и ограничени по направление пълноразмерни тестове по нарочно предизвикано огнище на пожар с включен противопожарен състав. За целта са изградени фамилия прототипни ракети „Дракон“ с различни габарити и различна маса на задвижващото гориво и гасителния заряд, показани на фиг.3 и фиг.4. Опитно е установено, че в зависимост от масата и пълния импулс на двигателите им, ракетите могат да покриват дистанции от няколко метра до 5-10 km, без значение от релефа на местността.



Фиг. 3. Един от действащите изпитателни образци на ракетата



Фиг. 4. Прототип на ракетата „Дракон“, подготвен за полет по контролирана траектория

4. Още един съществен елемент от конструкцията на ракетата е носовият обтекател. Основната му функция е свързана с добрата аеродинамика и намаляване на въздушното съпротивление при полет, но за настоящето приложение той изпълнява втора много важна функция, а именно запазване целостта на изделието при достигане на целта в пожарното огнище. При своя полет ракетата достига скорост от стотици m/s и голяма кинетична енергия. Колкото масата на ракетата е по-голяма, толкова по-висока ще бъде кинетичната енергия при удара и в повърхността. Поради тази причина носовият обтекател има ролята да погълне голяма част от тази енергия чрез своята деформация при удара. Подборът на градивни материали за челния обтекател е едно от големите предизвикателства при създаването на прототипа. Извършва се като комбинация от софтуерно симулиране на деформациите и реални изпитания на голям брой биоразградими композити. Получени са достатъчно добри решения по отношение на материала, формата и размерите на обтекателя, които осигуряват изискванията за запазване на работоспособността на изделията при достигане на целта [1,5].

Кратък анализ за бъдещето на концепцията за ракетно пожарогасене в България

Въпреки, че постигнатите досега резултати в изследванията на този иновативен метод за потушаване на горски пожари са изключително обнадеждаващи, има някои фактори, които могат да се окажат проблемни за реалното осъществяване на подобна система. Например, в момента в нашата страна не се позволява използването на мобилни пускови установки за ракети с гражданско приложение. Такива ракети например са противорадовите. Разположението на площадките за изстрелването им е точно фиксирано с постановление на Министерския съвет, което като вариант за противопожарни системи не е приложимо. Практически не е възможно да има такава концентрация на стационарни звена, които да покриват цялата потенциално застрашена територия от горския фонд на страната.

Процедурите по задействане на една ракетна система също са тромави и може да причинят огромно забавяне, като в крайна сметка да се редуцира ефективността и до минимум. По принцип, използването на въздушното пространство за подобни цели изисква изключително прецизна предварителна съгласуваност между институциите и точно разписани модели на реакция за всяка една очаквана кризисна ситуация.

За ефективното внедряване на ракетна противопожарна система е изключително важно навременното получаване на първоначалните данни от изградена мониторингова мрежа, за да може да се реагира още преди разрастването на установеното пожарно огнище. За събиране и обобщение на данни за възникване и разпространение на горски пожари в ЕС е създадена системата EFFIS (European Forest Fire Information System). Чрез нея се обработва информация от дистанционни наблюдения и наземни центрове, които са подадени от страните членки. България е включена в тази мрежа от 2007 г. За локален мониторинг на застрашени райони от фирмата „IQ wireless“ – Германия е разработена високоефективна оптична сензорна система за наблюдение, наречена FireWatch, базирана на мрежа от чувствителни датчици, засичащи появата на дим денем и нощем в радиус до 15 km. Тази система е презентирана в нашата страна още през 2013 г., а в страни като Гърция, Кипър, Литва, Естония и Казахстан вече успешно работи и е доказала своята висока ефективност [6].

Заклучение

Създадените прототипи на противопожарна ракета „Дракон“ се явяват ценен инструмент, помагач за събиране на данни чрез „стрелба“ по нарочно симулирано, но реално горящо пожарно огнище, посредством контролирани тестови полети. Информацията, получена от тестовете, се използва за по-нататъшно усъвършенстване на конструкцията на ракетата и нейния двигател, подобряване на химическата формула на пиротехническия състав, неговата геометрия и необходимо количество, както и вътрешнобалистичните параметри на горенето.

От досега проведените експериментални изследвания може да се направи заключението, че използването на ракети за пренасяне на аерозолни пиротехнически гасителни състави е напълно възможно, а ефективността при тяхната употреба зависи в голяма степен от броя на изстреляните по пожара изделия, количеството на пренасяния гасителен състав и точният избор на химическа формула на аерозолсъздаващия заряд.

Противопожарните ракети се явяват ефикасни гасителни средства от последно поколение, те са лесни за употреба, безопасни за човека и околната среда, изключително евтини и малкогабаритни.

Литература:

1. Скандалиев, Х., К. Крумов и колектив, Експериментални изследователски ракети "БИО", Twelfth Scientific Conference with International Participation SES 2016, БАН, София, България, 142–147
2. Скандалиев, Х., Крумов К. и колектив, Изследване на композитни състави за соплови блок на екологично чисти ракетни двигатели., Fourteenth International Scientific Conference with International Participation SES 2018, БАН, София, България, 208–211
3. Сивева, Н., Скандалиев Х. и колектив, Екологично чисти ракетни двигатели за граждански цели., Шеста международна конференция с Младежка научна сесия „ЕКОЛОГИЧНО ИНЖЕНЕРСТВО И ОПАЗВАНЕ НА ОКОЛНАТА СРЕДА“ (ЕИООС'2019) 5-7 юни 2019 г., Бургас.
4. Скандалиев, Т., Скандалиев Х., Сивева Н., Екологично чисти безхлорни състави за приложение в ракетната техника и пиротехниката., Ninth student scientific conference "Ecology and environment", KONSTANTIN PRESLAVSKY UNIVERSITY OF SHUMEN, April 23-24, 2021
5. Скандалиев, Т., Аерокосмически технологии за борба с пожарите., XIX Национален конкурс „Космосът – настояще и бъдеще на човечеството“, София, 2017
6. Любомиров И., "Система за ранно предизвестяване на горски и полски пожари.", ВТУ, 2014
7. Zhang, X., Hot aerosol fire extinguishing agents and the associated technologies: A review., 2014
8. Fire-extinguishing rocket system to fight skyscraper fires., Defence Redefined, 2020
9. Zakhmatov, V. D., M. V. Silinkov, and M. V. Chernyshov, OVERVIEW OF IMPULSE FIRE-EXTINGUISHING SYSTEM APPLICATIONS, Jr. of Industrial Pollution Control 32(2)(2016) pp 490–499
10. Дмитриевский, А. А., Лысенко Л. Н., Богодистов С. С, Внешняя баллистика., Москва, 1991