

БИОРАКЕТИ ОТ ЧЕТВЪРТО ПОКОЛЕНИЕ „БИО-4”

**Христофор Скандалиев^{1,2}, Калин Крумов^{1,2},
Весислава Тотева¹, Томислав Скандалиев^{1,2}**

¹Химикотехнологичен и металургиячен университет – София

²Клуб за аерокосмически технологии “Зодиак” – Кюстендил

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Ключови думи: Изследователски ракети, аерокосмически технологии, биотехнологии, геокомпозити, екология, „зелени” ракетни горива

Резюме: Описани са резултати от изследвания, продължаващи експерименталната работа по създаване на ракетни модели, конструирани изцяло от биоразградими материали и геокомпозити. Посочени са основните технологични подобрения, различаващи последната серия прототипи с название «БИО-4» от предишните работни модели. Представени са данни от статични тестове и полетни изпитания, доказващи работоспособността на новото поколение прототипи и надеждността на ракетите и техните системи.

FOURTH GENERATION BIOROCKETS “BIO-4”

**Hristofor Skandaliev^{1,2}, Kalin Krumov^{1,2},
Vesislava Toteva¹, Tomislav Skandaliev^{1,2}**

²University of Chemical Technology and Metallurgy – Sofia

¹Club for aerospace technology “Zodiac” – Kyustendil

e-mail: fori2ivanov@yahoo.com

Keywords: Experimental sounding rockets, aerospace technologies, biotechnologies, geocomposites, ecology, green rocket propellants

Abstract: Results of research continuing experimental work on creating rocket models constructed entirely from biodegradable materials and geocomposites are described. The main technological improvements distinguishing the last series of prototypes called «BIO-4» from the previous working models are indicated. Data from static tests and flight tests are presented, proving the operability of the new generation of prototypes and the reliability of the rockets and their systems.

Въведение

Задачата за създаване и внедряване в практиката на нови „зелени” конструктивни материали е продиктувана от необходимостта за ограничаване използването на продукти, производни на петрола, както и такива, които не могат да се рециклират успешно. Такива са многообразието от пластмаси и синтетични полимери, както и широко използваните фибростъкленни и въглеродни композити. Замяната на компонентите, влагани в пластмасите, синтетичните полимери и традиционните композити с такива, които са с натурален произход и не създават предпоставки за натрупване в отпадъчни депа, при сегашното състояние на науката, са до голяма степен компромис по отношение на якостните и механичните си показатели, за сметка на бързата разградимост и способността им да бъдат рециклирани.

За определени области на приложение, с точно зададени специфични изисквания, качествата на тези иновативни градивни материали са напълно съпоставими с конвенционалните и позволяват тяхната успешна замяна. На този принцип се провеждат изследванията от проект „Биоракети” – за всеки конкретен детайл се търси оптимална формула за удовлетворяване на изискванията за механична якост, температурна издръжливост,

надеждност, стареене, съвместимост и скорост на разграждане. Така получените решения се подлагат на поредица от тестове и усъвършенстване до достигане на максимална близост до първоначално зададените параметри.

Същност на проекта „Биоракети“

„Биоракети“ е проект осъществяван от студенти и преподаватели в Химикотехнологичен и металургичен университет, София, съвместно с Клуб за аерокосмически технологии „ЗОДИАК“ в Кюстендил. Основната цел е разработване на технологии и решения за създаване на изследователски ракети, чиито компоненти са напълно разградими в природна среда, а горивата им са нетоксични при изгаряне [1]. Водещото изискване е да се гарантира, че целият жизнен цикъл на тези изделия ще бъде природосъобразен, незастрашаващ човека, животните и природните екосистеми. Дейностите по този проект са следните:

- разработване на иновативни разградими конструктивни материали и композити, на базата на природни продукти и отпадъчна биомаса [3]
- получаване на работещи формули на твърди ракетни горива, включващи в състава си безвредни съставки и отделящи при изгарянето си само нетоксични продукти [2]
- усъвършенстване и миниатюризация на бордовите компютърни и измервателни системи чрез влагане на модерни високотехнологични компоненти в тях

Основните натурални градивни суровини, използвани в проекта, са композити от ленени, памучни и конопени тъкани със специфично тегло 200-500g/m² в матрици от разградими биосмоли от видовете **EpoBioX** (Amroy Europe Oy), **Super Sap 100** (Entropy Research), **Vikoflex 7190** (Arkema), **Polylite 4729** (Reichhold). (Фиг. 1) В някои от детайлите са влагани естествени и синтетични влакна в комбинация със желатин, ПВА, водно стъкло, нишесте и добавки, отпадъчна биомаса, дървени стърготини, корков гранулат, къспе и смлени плодови костилки. (Фиг. 3) За високотемпературна изолация на ракетните двигатели са влагани различни видове натурален корк - листов и пресован, както и композити на базата на високотопими оксиди [8, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 18, 19, 20].

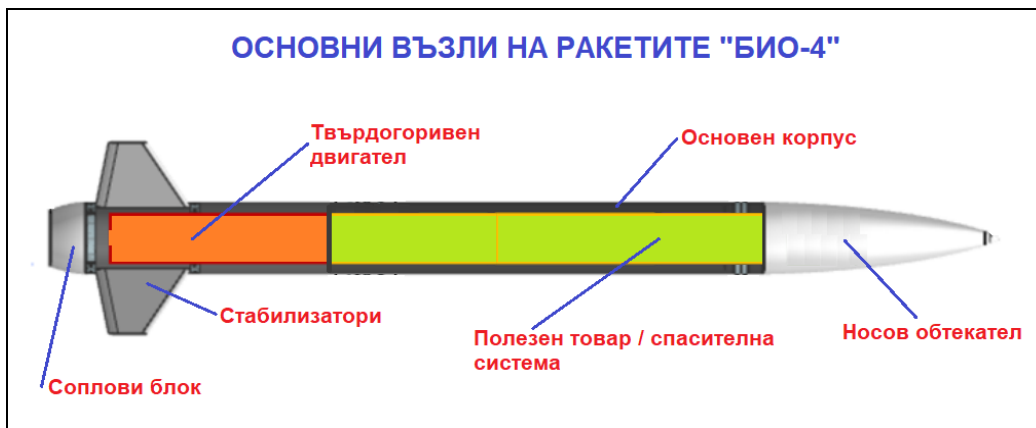


Фиг. 1. Основен модел композит в ракетите „БИО-4“

Проект „Биоракети“ се провежда поэтапно, като резултатът от всеки пореден етап е създаване на работещи ракетни прототипи, наименувани „БИО-1“, „БИО-2“, „БИО-3“. Надграждането във възможностите и степента на усъвършенстване определя поредния номер в тази поредица от създавани технологии и модели. Последната за момента разработвана генерация биоракети е означена с условно означение „БИО-4“. Предмет на настоящия доклад е представяне на основните детайли, предимствата и различията в характеристиките на последното поколение биоракети от моделите на предишните три етапа на проекта.

Основни характеристики на ракетите от серията „БИО-4“

Експерименталните биоракети конструктивно са изградени от няколко основни възли и агрегати, представени схематично на Фиг. 2. За да бъде изпълнено основното условие за биоразградимост е необходимо всеки от градивните компоненти да бъде конструиран от биоразградим материал. Тъй като всеки от тези възли изпълнява специфична роля и е подложен на различни видове натоварвания, то за всеки детайл се създават отделни варианти композити.



Фиг. 2. Конструктивни елементи на ракетата „БИО-4“

1. Носовите обтекатели поемат основното аеродинамично натоварване. Тяхната форма и размери зависят от типа на ракетата и скоростите, които достига по време на полет. Конструкцията им е във вид на кух конус с необходимата геометрия и степен на заобленост. Композитната матрица е съставена от няколко вида пълнители и свързваща биосмола. Пълнителите се подбират в зависимост от желаната маса на детайла, якостните изисквания и необходимата грапавост на външната повърхност. (Фиг. 5) Новият подход при моделите „БИО-4“ е редуването на слоеве от ламинат и пълнители, което повишава механичната здравина, позволява олекотяване и добавя допълнително пространство за полезен товар в ракетите.

2. Основният корпус представлява тръба с възможни редуции на диаметъра, в зависимост от изискванията на вътрешната архитектура на изделията. Тя е навита по ламинатна технология от редуващи се слоеве естествени платове с различна едрина и текстура в матрица от биосмоли. (Фиг. 4) При ракетите от четвърта биосерия двигателят и стабилизаторните плоскости са интегрирани в цялостната конструкция на основния корпус [7].

3. Стабилизаторите са листови ламинати от редуващи се тъкани с различна текстура, свързани с биосмола, втвърдявани при температура от 60°C под вакуум, заедно с корпуса.

4. Корпусът на твърдогоривния двигател се изработва от ламинат, заедно с тялото на ракетата, като допълнително в него се вкарват топлоизолацията и горивните заряди.

5. Сопловият блок е на базата на геополимер, направен от високотопими оксиди и остатъчна сгуропепел, алкално активирани с натриев силикат и натриев хидроксид. (Фиг. 6) За допълнителна механична здравина и топлоустойчивост при ракетите „БИО-4“ в геополимера са добавяни въглеродни влакна [3, 12, 13, 14].



Фиг. 3. Видове естествени тъкани и влакна за ламинатните композити

6. Съществен елемент в класификацията на ракетите „БИО“ като „зелени“ изделия с почти нулев въглероден отпечатък е тяхното твърдо гориво. От многообразието разработени

досега твърди екологични горива, при моделите „БИО-4“ се използва състав на базата на директно извлечени нерафинирани захари в комбинация с микс от нетоксични окислители и технологични добавки. Извличането на натуралните захари и фибри от некачествени плодове се прави чрез изпаряване на излишното водно съдържание посредством оригинално разработена инсталация, ползваща концентратор на слънчева енергия [4, 5, 6].

7. Спасителните парашутни системи и техните окачвания при „БИО-4“ са от естествени копринени тъкани и естествени високоякостни влакна.



Фиг. 4. Корпусна тръба



Фиг. 5. Носов обтекател



Фиг. 6. Геополимери

Експериментална дейност

За верификация на теоретично заложените параметри при детайлите и прототипите на ракетите „БИО-4“ са проведени серия от лабораторни тестове и полетни изпитания. Изследвани са механичните, якостните, топлофизичните качества и надеждността на агрегатите и моделите. Получени са множество данни от наземната стендова апаратура и бордовите системи на ракетите в полет. Проведени са официално регистрирани в ЦПРВП полети на модели с диаметър на корпуса $\varnothing 50$, $\varnothing 60$ и $\varnothing 80$ mm (Фиг. 7, 8, 9).



Фиг. 6. Ракета $\varnothing 80$ mm



Фиг. 7. Част от екипа на проекта



Фиг. 8. Старт на „БИО-4“

Заклучение

Моделите от най-новата четвърта генерация експериментални ракети „БИО“ по своята същност могат да се разглеждат като действащи прототипи на изделия, проектирани и изградени от 100% биоразградими компоненти. Това е основната цел, заложена в осъществяването на този широкообхватен проект, която на ниво тестови пълноразмерни образци може да се смята за постигната. Резултатите от проведените изпитания доказват, че

избраният подход на работа е успешен и може да се използва за проектиране, технологична разработка и серийно производство на биоракети с различно функционално предназначение.

Основните предимства на ракетите от четвърта „БИО“ серия, различаващи ги от предишните версии, могат да бъдат обобщени така:

- 100% от компонентите на моделите са изградени от биоразградими материали
- твърдото гориво на ракетните двигатели е базирано на нерафинирани природни захари, добивани по безотпадна и енергоефективна възобновяема технология
- корпусите на ракетите са конструирани от нов вид биоразградим композит, като включват в себе си двигателното легло и всички елементи на твърдогоривния двигател
- двигателят на ракетата е изграден по схемата „пашкул“ от натурални влакна и смоли, като е напълно интегриран в основния корпус на ракетата
- термичнонатоварените елементи на ракетния двигател са конструирани от топлоустойчив геокомпозит с включени въглеродни нишки за повишаване на механичната якост и устойчивостта на абразивното въздействие на отходните продукти от горенето
- носовите обтекатели на ракетите са изпълнени като слоести обемни решетки от редуващи се ламинатни и запълващи слоеве от естествени влакна и пълнители
- за външно покритие и декоративно оформление на ракетите са използвани водоразтворими и нетоксични лакови покрития от натурални суровини и оцветители
- спасителните парашутни системи са комбинация от естествена коприна и копринени носещи въжета за окачването

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. 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.
3. 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.
4. Крумов, К., Скандалиев Х., и колектив, *„Зелени“ твърди ракетни горива – възможни и невъзможни решения.*, X Международна Научна Конференция ТЕХНИКА. ТЕХНОЛОГИИ. ОБРАЗОВАНИЕ. СИГУРНОСТ, Боровец, 07- 10 юни, 2021.
5. Скандалиев, Х., Сотиров А., Сивева Н., Скандалиев Т., *Изследване на ябълки като потенциална суровина за екологични ракетни горива.*, Годишна университетска научна конференция, Национален Военен Университет, Велико Търново, 2021.
6. Сивева, Н., Крумов К. и колектив, *Изследване на калориметрични свойства и параметри на нови екологични ракетни горива.*, XVII Научна постерна сесия за млади учени, докторанти и студенти, ХТМУ, 2020.
7. Скандалиев, Х. и колектив, *Прототип на противопожарна ракета „Дракон“.*, Seventeenth International Scientific Conference with International Participation SES 2021, БАН, София.
8. Kalia, S., *Biodegradable Green Composites.*, Indian Military Academy, 2016.
9. Bennett, R. R., Hinshaw, J. C., and Barnes, M. W., *'The Effects of Chemical Propulsion on the Environment,'* Acta. Astronautica 26(7), 531 (1992).
10. Niklas Wingborg, *Development of Green Rocket propellants: An overview*, Swedish Defence Research Agency, FOI, 2018.
11. John, L. Provis and Jannie S. J. van, *DeventerGeopolymers Structure, processing, properties and industrial application*, 2009, Woodhead Publishing Limited.
12. S Usha,Deepa G. Nair,Subha Vishnudas, *GEOPOLYMER BINDER FROM INDUSTRIAL WASTES: A REVIEW*, 2014, IJCIET.
13. Джамбазов, С., Йолева А., *Специални керамични материали.*, 2011, ХТМУ, София.
14. Girts Bumanis, Diana Bajare, Janis Locs, *The Effect of Activator on the Properties of Low-Calcium Alkali-Activated Mortars.*, 2014, Riga, Latvia.
15. Nayak, N. V., *Composite Materials in Aerospace Applications.*, International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4, Issue 9, September 2014.
16. Gholampour, A.; Ozbakkaloglu, T. A review of natural fibre composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications. J. Mater. Sci. 2020, 55, 829–892. [CrossRef]
17. Patil, N.V.; Rahman, M.M.; Netravali, A.N. Green composites using bioresins from agro-wastes and modified sisal fibres. Polym. Compos. 2019, 40, 99–108.
18. Potluria, R.; Krishnab, N.C. Potential and Applications of Green Composites in Industrial Space. Mater.Today. Proc. 2020, 22, 2041–2048.
19. Bahrami, M. et al., Recent Progress in Hybrid Biocomposites: Mechanical Properties, Water Absorption, and Flame Retardancy., 2020, Madrid, Spain.
20. Colomer-Romero, V. et al., Comparison of Mechanical Properties of Hemp-Fibre Biocomposites Fabricated with Biobased and Regular Epoxy Resins., 2020, Spain.