

LA UN JUBILEU DE LA CUCERIREA LUNII, SAU CUM SOVIETELE AU PIERDUT CURSA

DOI: 10.5281/zenodo.3364308

Doctor habilitat în științe fizico-matematice **Veaceslav URSACHI**
Secția Științe Exacte și Inginerești, Academia de Științe a Moldovei

AT A JUBILEE SINCE THE CONQUEST OF THE MOON, OR HOW THE SOVIETS LOST THE RACE

Summary. The main stages of the development of space technologies are analyzed in this work with a main focus on programs devoted to sending humans to the moon, which are also perceived as “the moon race”, successfully finished 50 years ago. The technologies and the vehicles developed by the two parties involved in the race: USA and USSR, are discussed. Some conclusions concerning the main factors which determined the outcome, the actual state of the field and the prospects for further development are drawn.

Keywords: rocket, spaceship, launch, engine thrust, fuel, oxidant, low Earth orbit, Moon landing.

Rezumat. Această lucrare prezintă o analiză a etapelor de dezvoltare a tehnologiilor spațiale cu focalizare preponderentă pe programul de trimitere a Pământenilor către Lună, care mai este perceput drept așa-numită „cursă pentru cucerirea lunii”, încununată cu succes cu 50 de ani în urmă. Sunt analizate tehnologiile și vehiculele dezvoltate de cele două partide implicate în „cursă”: SUA și URSS. Se fac unele concluzii cu referință la factorii principali, care au determinat rezultatul competiției, la starea actuală a domeniului și la perspectivele de dezvoltare.

Cuvinte-cheie: rachetă, navă spațială, lansare, tracțiunea motorului, combustibil, oxidant, orbita terestră joasă, așezare.

INTRODUCERE

Competiția tehnologiilor de lansare a rachetelor cosmice între Statele Unite ale Americii și Uniunea Sovietică a început imediat după cel de-al Doilea Război Mondial și a avut ca bază aceeași sursă – elaborările tehnologice din al Treilea Reich (Germania hitleristă). Evident că domeniul era explorat și anterior în ambele țări, dar la un alt nivel. În Uniunea Sovietică, cercetările în acest domeniu, începute în Laboratorul de Hidrodinamică (ГДЛ) și Grupul de Cercetare a Mișcării Reactive (ГИРД), continuate în Institutul de Cercetări Reactive al Armatei Roșii (РНИИ РККА) fondat prin ordinul mareșalului Tuhacevski, au fost grav periclitate de represaliile staliniste. Directorii Institutului de Cercetare 3 (НИИ-3) din cadrul acestei instituții, I. T. Kleimenov și G. E. Lamgemak, au fost executați în urma denunțului fals la NKVD al turnătorului carierist A. G. Kostikov [1], iar viitorul constructor nr. 1 al motoarelor reactive, V. P. Gluško, a luat calea GULAG-ului. Aceeași soartă a avut-o viitorul constructor nr. 1 al rachetelor S. P. Koroliov. Doar printr-o minune aceste două personalități marcante au rămas în viață.

La sfârșitul celui de-al Doilea Război Mondial, lucrările în domeniul dezvoltării tehnologiilor de lansare a rachetelor avansaseră foarte mult în cel de-al Treilea Reich. Racheta cu denumirea *Agregat 4 (A4)*, sau *Vergeltungswaffen 2 (V-2)*, dezvoltată de către genialul constructor de rachete Wernher von Braun în labo-

ratoarele de la Peenemünde, a efectuat primul zbor sub-orbital, atingând în 1944 înălțimea de 188 km la lansare verticală cu o încărcătură de 0,8 tone. Anume acest aparat de zbor a fost prototipul rachetelor balistice elaborate ulterior în SUA și URSS. Racheta utiliza drept combustibil etanolul și oxigenul lichid în calitate de oxidant.

Este de menționat faptul că proiectele constructorului von Braun ținteau mult mai departe chiar și în acea perioadă. Astfel, proiectele A-9/A-10 urmăreau dezvoltarea rachetelor în două trepte cu o altitudine de 400 km și o distanță de zbor de până la 5 mii km. Racheta A12 era proiectată în 4 trepte cu o capacitate de a plasa 10 tone pe orbita terestră joasă. Aparatul de zbor (în proiect) avea o înălțime de 33 m și era propulsat de 50 de motoare A10, cu o tracțiune de 0,2 tone-forță (2 kN) fiecare [2]. Desigur, acestea erau doar proiecte, iar sincronizarea unui număr de 50 de motoare nu era reală la acea vreme. Anticipând discuția, menționăm că S. P. Koroliov a încercat sincronizarea a 30 de motoare, însă nu i-a reușit. Doar Elon Mask (Space X) a izbutit în anul 2018 sincronizarea a 27 de motoare în racheta Falcon Heavy.

PRIMA FAZĂ DE DEZVOLTARE A RACHETELOR BALISTICE

În perioada postbelică, ambele mari puteri, SUA și URSS, au obținut partea lor din tortul de la Pee-

nemunde: Uniunea Sovietică a pus mâna pe documentația tehnică a lucrărilor de dezvoltare a rachetelor și speci­me­nele rachetelor, iar Statele Unite au beneficiat de creierul constructorului (Wernher von Braun).

Punctul de start al competiției globale dintre cele două țări poate fi considerat anul 1950, când în Statele Unite a fost lansat proiectul Atlas, iar în Uniunea Sovietică a fost lansată racheta balistică R1, o modifi­cație a rachetei V-2. Aparatul Rusiei Sovietice avea de fapt o varietate mai redusă a tipurilor de oțeluri și aliaje în raport cu cele utilizate în racheta V-2, posibil din cauza industriei metalurgice mai avansate în Germania celui de-al Treilea Reich (figura 1).

Racheta R2, dată în exploatare în anul 1951, era o variantă mai avansată, având o distanță de zbor dublă în raport cu racheta R1. Aparatul de zbor R5, dat în folosință în anul 1954, era deja o rachetă balistică cu rază medie de acțiune (utilizând terminologia militară) și avea o distanță de zbor dublă în raport cu R2 (1200 km).

Inițial rachetele balistice dezvoltate atât un SUA, cât și în URSS, aveau, bineînțeles, o destinație militară – transportarea focoare nucleare peste ocean. Spre deosebire de rachetele R1-R5, rachetele elaborate de von Braun în proiectul Atlas se sprijineau pe o tehnologie mai avansată, folosind drept combustibil kerosen

(RP-1) în loc de etanol. Racheta SM-65 din proiectul Atlas, lansată în 1957, avea 2 motoare Rocketdyne în boostere cu o tracțiune de 130 tf (1,3 MN). Motorul era configurat în așa-numitul design cu 2 camere și jumătate.

PRIMELE MISIUNI DE CUCERIRE A COSMOSULUI

O modifi­cație perfecționată a rachetei Atlas (varianta LV-3B) a stat la baza Proiectului Mercury – primul program de lansări cu astronauți din Statele Unite [3]. Proiectul Mercury a durat cinci ani (1958–1963), zborul fără astronauți fiind realizat în 1960, iar primul astronaut american, Alan Shepard, a efectuat un zbor suborbital la 5 mai 1961, urmat de zborul astronautului John Glenn la 20 februarie 1962 pe orbita terestră joasă. În total, șase astronauți au fost lansați în spațiu în cadrul programului Mercury. Alan Shepard nu a fost însă primul om care a cucerit cosmosul. Întâietatea i-a revenit lui Iuri Gagarin, care a efectuat un zbor pe orbita terestră joasă la 12 aprilie 1961, cu o lună înainte de Alan Shepard și cu zece luni înainte de John Glenn. Prin urmare, americanii au pierdut prima fază a cuceririi cosmosului. Sovieticii le-au luat-o înainte cu precădere datorită efortului depus de două personalități –

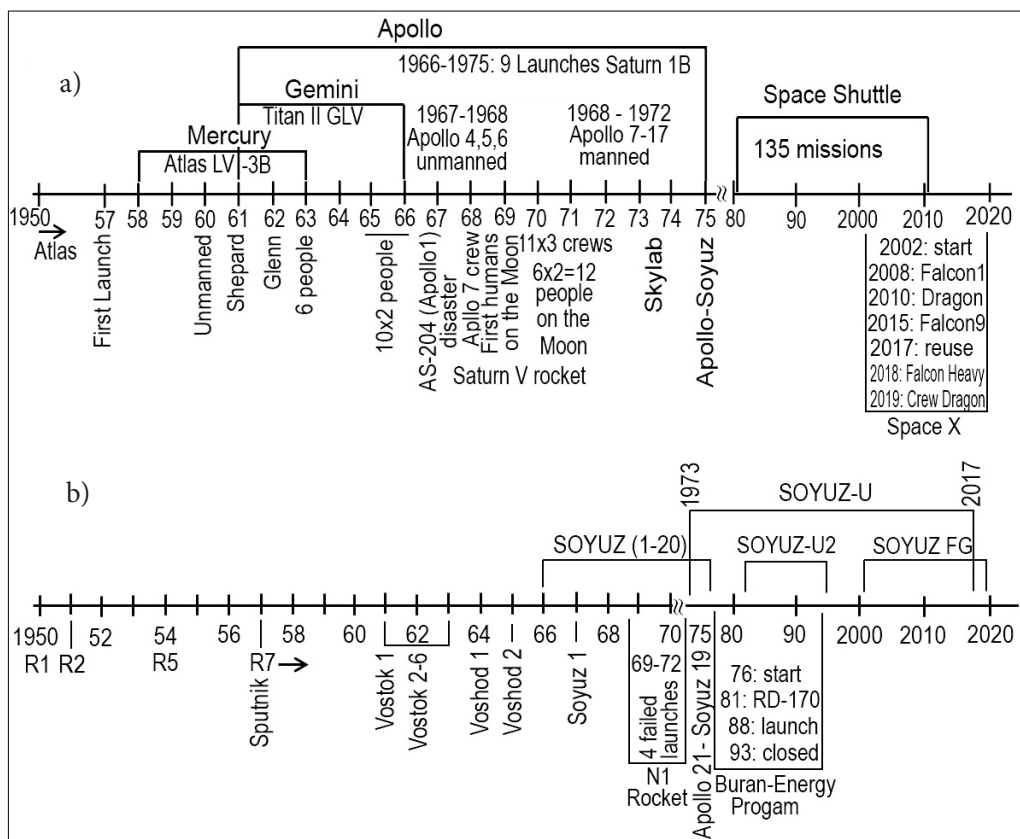


Figura 1. Evoluția în timp a tehnologiilor de lansări spațiale pilotate în SUA (a) și URSS-Rusia (b).



Figura 2. Racheta R7. Înălțimea rachetei este de 34 m.
[https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok_\(rocket_family\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Vostok_(rocket_family))

constructorul de motoare V. P. Gluško și constructorul de rachete S. P. Koroliov, menționați anterior.

Succesele Uniunii Sovietice s-au materializat odată cu dezvoltarea de către Gluško a motorului RD-107, o construcție excepțională cu patru camere (spre deosebire de designul cu două camere și jumătate promovat de von Braun în proiectul Atlas). Motorul RD-107 utiliza deja drept combustibil kerosen și avea o tracțiune de 80 tf la nivelul mării în 4 camere [4]. Nu mai puțin performantă era și racheta R7, dezvoltată de către S. P. Koroliov, cu un design extraordinar de 4 boostere în prima treaptă a rachetei, fiecare cu un motor RD-107, și cu un motor RD-108 în treapta a doua a rachetei (figura 2) [5]. Motorul RD-108 este de fapt o modificare a motorului RD-107, dar fiind optimizat pentru funcționare în vid, spre deosebire de motorul RD-107 care este optimizat pentru funcționare la nivelul mării. Cu racheta R7 a fost lansat primul satelit artificial al Pământului în 1957 și prima navă cosmică Vostok 1, cu Iuri Gagarin la bord, în 1961. De fapt, această rachetă constituie inima cosmonauticii pilotate în ansamblu, în URSS-Rusia și nu numai. Cu mici modificări, racheta a fost și este „căluțul de tracțiune” al corăbiilor cosmice Vostok (1961–1963), Voshod (1964–1965), Soyuz (1966–1976) și a modificărilor mai moderne Soyuz-U (1973–2017), Soyuz-U2 (1982–1993) și Soyuz-FG (2004–2018) (figura 1b).

CURSA PENTRU CUCERIREA LUNII

Aici însă succesele Uniunii Sovietice se termină și vine rândul Statelor Unite. Wernher von Braun și-a luat revanșa în programul Apollo [6]. Ca și în cazul lui Koroliov și a rachetei R7, performanțele lui von Braun și ascensiunea rachetei sale sofisticate Saturn V [7] au început odată cu dezvoltarea motorului Rocketdyne F-1 [8]. Compania Rocketdyne a reușit stabilizarea arderii combustibilului (RP-1 cu oxigenul lichid ca oxidant) într-o cameră de motor gigantică (dimensiunile motorului 5,6 m lungime și 3,7 m în diametru), obținând o tracțiune de cca 700 tf la nivelul mării într-o singură cameră (a compara cu tracțiunea motorului RD-107 de 80 tf în 4 camere). Având un astfel de motor la dispoziție și, în plus, motorul Rocketdyne J-2 [9], cu funcționare în baza combustibilului de hidrogen lichid și oxigenul lichid în calitate de oxidant, cu tracțiune de 100 tf într-o cameră, pentru treapta a doua a rachetei, von Braun a configurat racheta sa elegantă Saturn V în 3 trepte, cu 5 boostere Rocketdyne F-1 în prima treaptă, 5 motoare Rocketdyne J-2 în treapta a doua și un motor Rocketdyne J-2 în treapta a treia, obținând astfel o tracțiune totală de 4 100 tf (figura 3).

Aici începe drama principală pentru Koroliov și Gluško. De fapt, programul Apollo a demarat în anul 1961, concomitent cu al doilea program spațial al Statelor Unite – Proiectul Gemini [10], finalizat în anul 1966 (denumirea provine de la faptul că echipajul navelor cosmice era format din doi astronauți, spre deosebire de trei cosmonauți în corăbiile cosmice Vostok și Soyuz). Zece misiuni pilotate în cadrul programului Gemini s-au concentrat în doi ani (1965–1966), fiind trimiși pe orbita terestră joasă 20 de astronauți.

Programul Apollo a început cu dezvoltarea unor rachete premergătoare rachetei Saturn V, cum ar fi Saturn 1B, de exemplu, iar misiunile pilotate au demarat cu un mare ghinion – dezastrul misiunii AS-204, denumită ulterior simbolic – Apollo1, planificată pentru lansare la 21 februarie 1967. În această catastrofă și-au pierdut viața trei astronauți într-un exercițiu de testare pe poziția de start de la Cape Kennedy LC-34. Cred că este cazul să reamintim numele acestor trei eroi: Virgil Ivan, Edward Higgins White și Roger Bruce Chaffee, care au ars în corabia cosmică din cauza unei erori de design, atmosfera navei spațiale fiind formată din oxigen pur, ceea ce a condus la răspândirea rapidă a unui incendiu declanșat întâmplător. Aici trebuie să menționăm că von Braun nu poartă vina pentru dezastrul respectiv, deoarece dezvoltarea navelor spațiale nu era businessul său, el răspundea doar de dezvoltarea rachetelor. Acest accident a condus la suspendarea misi-

unilor pilotate pentru 21 de luni, ele fiind reluate doar în octombrie 1968 în cadrul misiunii Apollo 7.

Oricum, această rețineră nu a influențat decisiv cursa pentru cucerirea Lunii, deoarece Koroliov și Glușko nu erau pregătiți pentru a face față provocărilor. Problema principală a Sovietelor era lipsa unui motor destul de puternic și totodată fiabil, cu capacitatea de a pune pe orbita Lunii o corabie cosmică. După cum am menționat mai sus, motorul RD-107 avea în toate cele 4 camere o forță de tracțiune cu aproximativ un ordin de mărime mai joasă decât motorul Rocketdyne F-1 într-o singură cameră. Koroliov cerea de la Glușko dezvoltarea unui motor mai puternic, iar Glușko nu dorea să-și asume această responsabilitate, spunând că el are nevoie de cel puțin zece ani pentru astfel de lucrări. Evoluțiile ulterioare au arătat că, într-adevăr, Glușko a fost capabil să dezvolte un motor cu o capacitate de a face față problemei doar în anul 1981 – motorul RD 170 pentru programul Sovietic Buran-Energy (Энергия-Буран).

Pe de altă parte, Glușko îi propunea lui Koroliov să pună la baza rachetei motorul RD-253, dezvoltat anterior pentru racheta Proton în programul constructorului de rachete V. N. Cialomei. Deși acest motor era net inferior după tracțiune în comparație cu motorul Rocketdyne F-1 (170 tf la nivelul mării într-o cameră), el fiind asamblat într-un număr de cca 30 de motoare într-o rachetă, ar fi putut rezolva problema. Dar problema se complica prin faptul că motorul RD-253 utiliza în calitate de combustibil hidrazina în loc de kerosen. Hidrazina, fiind o substanță extrem de toxică și periculoasă, nu putea fi acceptată de către Koroliov, care își dădea bine seama de complexitatea problemei de a sincroniza funcționarea a 30 de motoare într-o rachetă. Deci, nici Koroliov nu dorea să-și asume responsabilitatea, înțelegând perfect probabilitatea ca cel puțin primele câteva încercări ale rachetei să se soldeze cu explozii. Era una să explodeze o rachetă pe kerosen și cu totul alta să explodeze o rachetă pe hidrazină. Aici au început disensiunile dintre acești doi mari constructori, care au condus la pierderea cursei pentru cucerirea Lunii.

Între timp, programul Apollo se derula în forță. Misiunea Apollo 7, lansată în februarie 1967, a îndeplinit sarcinile preconizate pentru Misiunea Apollo 1 de a testa Modulul de comandă și serviciu pe orbita terestră joasă. Modulul de comandă și serviciu a fost pus pe orbita terestră joasă cu racheta Saturn 1B, însă misiunea a fost precedată de testarea fără astronauți a rachetei Saturn V și a Modulului Lunar. Modulul de comandă și serviciu și Modulul Lunar erau două componente principale ale navei spațiale din cadrul Programului Apollo. Prin urmare, misiunea Apollo 7

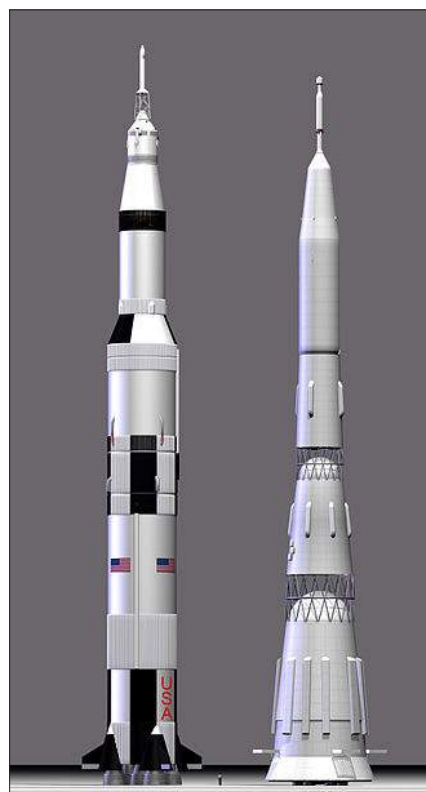


Figura 3. Racheta lui von Braun Saturn V în comparație cu racheta lui Koroliov N1. Înălțimea rachetei este de 110 m. [https://en.wikipedia.org/wiki/N1_\(rocket\)](https://en.wikipedia.org/wiki/N1_(rocket))

a fost prima misiune pilotată din cadrul programului Apollo, scoasă pe orbită cu racheta Saturn 1B, prima misiune americană cu trei astronauți și prima misiune cu transmisie TV în direct, toate lansările Sovietelor fiind anunțate doar după finalizarea cu succes a misiunilor sau atunci când echipajele erau deja pe orbită. Acest succes a permis lansarea peste două luni cu racheta Saturn V a misiunii Apollo 8 pe orbita Lunii. Misiunea Apollo 8, preconizată inițial pentru un zbor eliptic pe orbita terestră medie, pentru a testa Modulul de comandă și serviciu și Modulul lunar în complex, a fost reconfigurată într-o misiune mai ambițioasă de a părăsi orbita Pământului și a testa doar Modulul de comandă pe orbita Lunii, întrucât Modulul Lunar nu era încă gata pentru misiune. Astfel, membrii echipajului misiunii Apollo 8 au fost primii Pământeni care au învins gravitația unui corp ceresc și au fotografiat un răsărit de Pământ de pe orbita Lunii. Echipajul acestei misiuni a parcurs drumul până la Lună în decurs de aproape trei zile, a făcut înconjurul Lunii de 10 ori în decurs de 20 de ore și a prezentat o emisiune TV-live de Crăciun de pe orbita Lunii, recitând primele 10 verseturi din Cartea Genezei. Misiunea Apollo 8 a deschis calea pentru misiunea Apollo 11, care a îndeplinit obiectivul președintelui SUA John F. Kennedy de a plasa oamenii pe suprafața Lunii până la sfârșitul anilor 1960. Misiunile intermediare Apollo 9 și Apollo 10

au mai testat doar unele aspecte pentru a asigura o aselenizare perfectă a primilor Pământeni Neil Armstrong și Buzz Aldrin la 21 iulie 1969, 02:56:15 UTC.

După misiunea Apollo 11 au mai urmat șase zboruri către Lună (Apollo 12 – Apollo 17), toate cu succes, cu excepția misiunii Apollo 13, care a avut ghinionul să explodeze o butelie cu oxigen atunci când Modulul de comandă și serviciu era pe orbita Lunii, producând o gaură imensă de $3,6 \times 1,5 \text{ m}^2$ în Modulul de serviciu. Doar cu efortul supraomenesc al membrilor echipajului și cu suportul dedicat de pe Pământ s-a reușit aducerea echipajului acasă, iar această dramă a fost ecranizată în mai multe rânduri, cea mai notabilă fiind filmul *Apollo 13* montat în 1995.

Revenind la programul sovietic de trimitere a cosmonauților către Lună, constatăm că S. P. Koroliov nu a cedat după refuzul lui Glușko de a dezvolta un motor pe kerosen cu o forță de tracțiune acceptabilă, dar nici nu a acceptat să utilizeze motorul RD-253 pe hidrazină. Koroliov a apelat la serviciile unei companii aeronautice din Kuybyshev (Uzina nr. 32), care s-a angajat să dezvolte un motor pe kerosen cu tracțiunea motorului RD-253, iar începutul testărilor de zbor ale rachetei N1 (H1) erau preconizate pentru anul 1965 [11]. Conform proiectului, racheta N1 era concepută în 5 trepte după schema 30:8:4:1:1, adică cu 30 de motoare în prima treaptă, 8 în treapta a doua etc. (figura 3 dreapta). Compania Aeronautică Uzina nr. 32 a reușit elaborarea și testarea cu succes în anul 1967 a motorului NK-15 pe kerosen cu tracțiunea de 150 tf la nivelul mării. Dar, din nefericire, constructorul general S. P. Koroliov nu mai era în viață. Genialul constructor de rachete a decedat la 14 ianuarie 1966. Astfel că tentativele de lansare a rachetei N1, începute în anul 1969, erau gestionate de succesorul lui Koroliov, V. P. Mișin, cursa, oricum, fiind deja pierdută. Între anii 1969 – 1972 au fost efectuate în total 4 tentative de lansare, toate nereușite. În pofida faptului că la fiecare testare racheta atingea o înălțime în creștere, iar la ultima testare motoarele au lucrat în regim nominal până la secunda 107 de zbor, adică doar cu 7 secunde înainte de timpul setat pentru despărțirea primei trepte a rachetei, programul a fost abandonat definitiv în anul 1974, la ordinul Constructorului general al programului cosmic al URSS, V. P. Glușko, desemnat în locul lui V. P. Mișin. De fapt, primul ordin al lui Glușko în calitate de Constructor general a fost încheierea lucrărilor asupra rachetei lui Koroliov N1. Totuși, racheta N1 putea avea o perspectivă de utilizare în cadrul propunerilor tehnice de dezvoltare a stației orbitale lunare L4 (Л4) și a noului complex N1F-LZM (Н1Ф-ЛЗМ) pentru asigurarea inițială a expedițiilor de lungă durată pe Lună către anul 1979, iar ulterior și asambla-

rea pe suprafața Lunii în anii 1980 a unei baze lunare sovietice Zvezda (Звезда). Cu toate acestea, Glușko a închis programul. În schimb, el a început dezvoltarea proiectului Buran-Energy (Энергия-Буран). Acesta însă este subiectul unei alte lucrări.

CONCLUZII

Competiția tehnologiilor dezvoltate pentru trimiterea oamenilor pe Lună nu era o competiție economică, ci una politică, care reieșea din contextul geostrategic global la acea perioadă istorică, marcată de competiția civilizațională, ideologică, economică etc. a celor două mari puteri: SUA și URSS. Competiția spațială era un non-sens din perspectivă economică, dovadă fiind faptul că după cele șase aselenizări zborurile spațiale spre Lună nu au mai avut continuitate timp de o jumătate de secol.

SUA au cheltuit pentru acest program 25 de miliarde de dolari la acea perioadă, ceea ce constituie peste 150 de miliarde în recalculare pentru anul 2018. Cheltuielile URSS nu pot fi evaluate din cauza caracterului ermetic al economiei sovietice. Aceste eforturi economice și financiare nu aveau cum să se răscumpere, iar teoriile conspirației, cum că aselenizarea a fost falsificată, nu doar că nu au niciun temei, ci sunt totalmente absurde. Nu ai cum să falsifici un program cu nouă expediții pe orbita lunii, dintre care una s-a întors pe pământ cu o gaură de 5 m^2 în Modulul de serviciu, iar toată lumea urmărea cu sufletul la gură eforturile fizice și mentale supraomenești ale echipajului de a reveni acasă. Deși programul Apollo nu avea un sens economic, oricum, primul pas al Omului pe suprafața Lunii este cu certitudine cea mai grandioasă elaborare tehnologică a Omenirii.

America a câștigat competiția, iar unul dintre principalii factori care au determinat rezultatul a fost potențialul economic, tehnologic și financiar enorm al Statelor Unite. Și-au spus cuvântul teroarea și represaliile din URSS care distrugau irațional baza oricărei dezvoltări – potențialul intelectual, spiritul inovațional, individualitatea umană. Nu este exclus și factorul de suprimare a inițiativei de asumare a riscurilor, cultivat de regimul politic totalitar și sistemul economic centralizat din Uniunea Sovietică la acea perioadă. Nu întâmplător, Glușko nu și-a asumat riscul de a dezvolta un motor pe kerosen, care să facă față problemei, iar Koroliov nu a acceptat să dezvolte o rachetă pe hidrazină. Posibil, și-a spus cuvântul frica genetică generată de experiența GULAG-ului.

Din fericire, trăim momentul revigorării interesului pentru expedițiile către Lună. De această dată, pe un fundal civilizată de interes economic. Aceasta

înseamnă că revenirea va fi definitivă, de lungă durată și nu se va limita doar la explorarea Lunii. De fapt, asistăm la începutul unei noi ere de inovație, progres tehnologic și explorare nelimitată. La prima etapă se preconizează ca Luna și orbita lunară să devină un hub (Lunar Gateway) pentru explorarea și exploatarea ulterioară a corpurilor cerești mai îndepărtate, în primul rând a planetei Marte, sateliților lui Jupiter și Saturn, precum și a meteoriților. Actualmente, fundarea unei baze operaționale pe suprafața Lunii este un lucru real, spre deosebire de proiectul Sovietic „Zvezda” din programul H1Ф-Л3М, menționat anterior. Sunt reale planurile de producere în condiții lunare a combustibilului pentru rachete din gheața de pe Lună. Programul promovat de National Space Exploration Campaign Report este o realitate [12].

Între Lună și Pământ pot fi create multiple sisteme jos-orbitale, care să asambleze structuri enorme și să suporte confecționarea comercială, turismul cosmic și

alte industrii spațiale. Comercializarea spațiului este deja o realitate. Doar în Statele Unite sunt în funcțiune o suită de companii spațiale comerciale: Space X, Blue Origin, Virgin Galactic, Rocket Lab, Stratolaunch, Orbital ATK, Bigelow Aerospace etc. În plus, sunt în ascensiune multiple startup-uri mici, care produc motoare pentru rachete cu tehnologii de 3-D printing (de exemplu Relative Space în Los Angeles, Ursa Major Technologies în Berthoud, Additive Rocket Corporation în San Diego, Made in Space în Jacksonville etc.).

Schimbarea paradigmei rachetelor reutilizabile, dezvoltată de Elon Mask (Space X) și Jeff Bezos (Blue Origin), conduce la reducerea drastică a costurilor și la creșterea dramatică a frecvenței lansărilor. Se trece de la paradigma de 10 lansări grele pe an către paradigma de 100 de lansări, iar aceasta este doar începutul. Rachetele Falcon Heavy (Space X) sunt deja operaționale, iar rachetele New Glenn (Blue Origin) și StarShip (Space X) sunt pe cale de apariție. Sunt în continuă evoluție și tehnologiile inovatoare, se trece de la motoarele pe kerosen la motoarele pe metan lichid (BE-4 de la Blue Origin și Raptor de la Space X). Toate acestea nu mai sunt Sci-Fi, sunt o realitate.

BIBLIOGRAFIE

1. Glushko, Valentin Petrovich, https://ru.wikipedia.org/wiki/Глушко,_Валентин_Петрович (vizitat 10.08.2019).
2. Agregat (rocket family): [https://en.wikipedia.org/wiki/Agregat_\(rocket_family\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Agregat_(rocket_family)) (vizitat 10.06.2019).
3. Project Mercury: https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Mercury (vizitat 10.06.2019).
4. RD-107: <https://en.wikipedia.org/wiki/RD-107> (vizitat 10.08.2019).
5. R-7 Semyorka: https://en.wikipedia.org/wiki/R-7_Semyorka (vizitat 10.06.2019).
6. Apollo program: https://en.wikipedia.org/wiki/Apollo_program (vizitat 10.06.2019).
7. Saturn V: https://en.wikipedia.org/wiki/Saturn_V (vizitat 10.06.2019).
8. Rocketdyne F-1: https://en.wikipedia.org/wiki/Rocketdyne_F-1 (vizitat 10.06.2019).
9. Rocketdyne J-2: https://en.wikipedia.org/wiki/Rocketdyne_J-2 (vizitat 10.06.2019).
10. Project Gemini: https://en.wikipedia.org/wiki/Project_Gemini (vizitat 10.06.2019).
11. H-1: <https://ru.wikipedia.org/wiki/H-1> (vizitat 10.06.2019).
12. National Space Exploration Campaign Report – NASA: <https://www.nasa.gov/sites/default/files/atoms/files/nationalspaceexplorationcampaign.pdf> (vizitat 10.06.2019).



Elisaveth Ivanovsky. Schiță de costum pentru spectacolul *Zâna viselor* de George Silvin, anii 1920.