

Редакционна колегия

Б. Бонев (главен редактор),
П. Велинов, П. Генев,
Б. Маджаров, Г. Мардиросян
(отговорен секретар), Д. Мишев,
П. Неновски,
Х. Спиридонов, Л. Филипов,
С. Чапкънов, З. Димитрова
(отговорен редактор на броя)
Преводач Л. Кралева

Editorial Board

B. Bonev (Editor-in-Chief),
P. Vellinov, P. Genov,
B. Majarov, G. Mardirosjan
(Secretary), D. Mishev,
P. Nenovski, H. Spiridonov,
L. Philipov, S. Charakanov,
Z. Dimitrova (Technical Editor)
Translated by L. Krалеva

Адрес

Аерокосмически изследвания в
България
Институт за космически
изследвания при БАН
България, София 1000,
ул. „Московска“ № 6

Address

Aerospace Research in Bulgaria
Space Research Institute,
Bulgarian Academy of Sciences
6 Moskovska Str., Sofia 1000,
Bulgaria

Издаелство на Българската
академия на науките

Редактор
Н. Евтимова

Коректор
Р. Илиева

Техн. редактор
В. Андропова

Изд. индекс 13555
Формат 70x100/16
Печ. коли 6,25
Изд. коли 8,10

Печатница на Издаелството
на БАН
1113 София
ул. „Акад. Георги Бончев“, бл. 6
Пор. № 248

629.13(05)

© БАН, Институт
за космически изследвания
1994

АЕРО КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ В БЪЛГАРИЯ

10

СОФИЯ . 1993

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

Съдържание

Н. Георгиев,
Г. Мардиросян,
М. Младеновски,
Х. Спиридонов
Космически, наземни и модели
изследвания на литосферните
движения на Балканския полу-
остров и в България в рамки-
те на проекта „Европроб“ /12

Н. Георгиев,
Х. Спиридонов
Използване на аналитични ме-
тоди за определяне на орбити-
те на ИСЗ при дистанционни-
те изследвания на Земята /13

Д. Димитров
Апроксимация на извънфокал-
ното разпределение на освете-
ността при изображения, има-
щи гаусова функция на им-
пулсия отклик / 30

Contents

N. Georgiev, G. Mardrossian,
M. Mladenovsky,
H. Spiridonov
Space, ground-based and model
investigations of lithospheric mo-
vements of Balkan peninsula and
Bulgaria within the framework
of the EUROPROBE
Project / 3

N. Georgiev, H. Spiridonov
Use of analytical methods
for determining the orbits
of artificial earth satellites
in remote sensing of the
Earth / 22

D. Dimitrov
Approximation of the out-of-
focus intensity distribution for
images having a Gaussian point
source function / 23

Г. Мардиросян, Д. Неделчева, Т. Здравев
Оптимизационен анализ на технико-експлоатационните характеристики на пелетаторен акселерометър за сеизмологични изследвания на планетата Марс / 31

Д. Петков
Разпредслени информационно-измервателни системи, използвани в космическите изследвания / 40

Д. Иванова
Моделна оценка на ултравиолетов озонометричен спътников експеримент / 41

Т. Иванова
Система, осигуряваща развитието на висши растения, функционираща на орбитална станция „Мир“ / 45

Ю. Симеонова
Физически предпоставки на вакуумната трибология / 53

Р. Недков, С. Симеонов, С. Танев
Някои особености на цифровата обработка на биосигналите при използване на системата за сбор и обработка на данни „ЗОРА“ / 64

Р. Недков
Система за интелектуална цифрова обработка на биомедицински сигнали в космически условия / 65

В. Рашков, А. Христов
Метод на допълнителната променлива в задачата за филтрация на пространствените координати и параметрите на движение на подвижни обекти / 71

Ц. Цанев
Перспективи на развитието и използването на системи за спътникови съобщения и разпръскване в България / 84

В. Маринов, Т. Грозданова, О. Цветков
Система за сбор и визуализация на телеметрични данни / 90

М. Аструкова
Спектрометричен предусилвател за физически експерименти / 95

G. Mardirossian, D. Nedelcheva, T. Zdravev
Optimization technical and operation analysis of a penetrator accelerometer for seismological exploration of the planet Mars / 36

D. Petkov
Distributed measurement system in space applications / 37

D. Ivanova
UV-radiation ozone satellite measurements modelling / 44

T. Ivanova
Higher plants growth support system used on space station "Mir" / 52

Y. Simeonova
Physical prerequisites of vacuum tribology / 58

R. Nedkov, S. Simeonov, S. Tanev
Some peculiarities of the biosignals digital processing in space using the "ZORA" system for data acquisition and processing / 59

R. Nedkov
System for intelligent digital biosignal processing on space board / 70

V. Rashkov, A. Christov
The additional variable method in the problem of spatial coordinates and parameters of motion filtration of mobile objects / 83

Ts. Tsanev
Satellite systems for communications and emission in Bulgaria. Futures of development and usage / 89

V. Marinov, T. Grozdanova, O. Tsvetkov
Telemetric data acquisition and visualisation system / 94

M. Astrukova
Spectrometric pre-amplifier for physical experiments / 99

Space, ground-based and model investigations of lithospheric movements of Balkan peninsula and Bulgaria within the framework of the EUROPROBE project

*Nikola Georgiev, Garo Mardirossian,
Mladen Mladenovsky, Hernany Spiridonov*

Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences

High accuracy of space technology, the development of space methods and the resolution of remote sensing imagery, providing possibility to define the boundaries (faults) of the lithospheric plates and blocks revealed large perspectives for the different geosciences.

Many projects have been developed giving answers to series of problems related with global, regional and local geodynamics and the correlation of these phenomena with the natural ones (seismicity, volcanic activity, etc.). Recently the possibility to establish close relation between international projects is available. For example the joint project VEGENER-IDEAL is a combination between the VEGENER Project (of the European Space Agency) and IDEAL (of the Eastern Space Council) [12—16].

Together with the European Project, aiming at the investigation of the regional dynamics of the Eurasian plate versus African, Arabian and Indian plates, there was initiated another Project EUROPROBE on the territory of the Eastern Space Council countries as well for the detailed investigation of the local and microlocal dynamics with the aid of complex scientific and experimental classical and space methods, providing qualitative and quantitative data on European and Asian platforms. Our attention is firmly directed towards the investigation of one of the most seismically active regions, i. e. the Balkan peninsula and Bulgaria in particular with the help of available data from classical measurements and future space GPS measurements and remote sensing imagery. In order to realize these investigations on the Balkan region we have made proposals and would like to consolidate the opinion of the specialists in the region for the future objectives in studying the geodynamic processes.

1. Geotectonic and geodynamic situation of Bulgaria and Balkans

The investigation of the geotectonics and geodynamics of the Bulgarian territory — part of the Balkan segment of the Eurasian continental region is closely related with the structure and the development of the Alpine-Himalayan orogen. With Vardar-Izmir-Ankara ophiolitic suture of the southern orogenic border northward close to the stable continental part Moesian platform it embraces southern and eastern Karpathians, the Balkanides, Serbian-Macedonian and Rhodopean massives, Strandja Mountain and the Pontides. Southward the suture fragments of the passive African edge are revealed represented by the Dinarides, Hellenides, Anatolides and Tavrides [1, 3, 11, 17].

The separate tectonic zones along Bulgarian territory are clearly distinguished with manifested fault ruptures some of them seismogenic. In order to investigate the geodynamics on regional scale and the separate neotectonic structures within the different tectonic zones, a geodynamic test site was selected (which we named Balkanprobe) along the Bulgarian territory which crosses transversely the mentioned tectonic structures. The test site embraces the central inland parts of 150-200 km width starting northward from Danube and ending southward with the Bulgarian-Greek border. This provides for continuation along Greek territory and encompass the European continent till the Vardar suture southward also encompassing the tectonic zones which are part of the African continent. Thus the main fault ruptures, crossing the crust and separating the tectonic zones are adjusted. In some fragments of the fault structures we define clearly expressed seismogenic effects and this is very typical for the southern Misian and Maritsa deep fault.

Linear and concentric formations obtained via aerospace imagery are marked on the neotectonic map. They reveal substantially new information which enriches our knowledge on the neotectonic structure of the Bulgarian territory. Some of them transect the entire Bulgarian territory and continue along the adjacent regions of the other Balkan countries. They are identified with dashed and dotted lines on the map.

Recent geodynamics of the Bulgarian territory is relatively well studied and is manifested with vertical movements mainly [3, 5, 6, 10]. The maximum values (up to 5,9 mm/year) of vertical movement velocity are expressed in tectonic zones with most thick crust. Such are the tectonic regions of the Rhodopean and Serbo-Macedonian massives, individual Balkan segments (the Balkan range). Large areas of the Misian platform, the front Balkan range, Srednogie, Kraiste, and Strandja are featured with average uplift values (up to 2 mm/year). In contrast with the general uplift of the Balkan peninsula there are some regions with relative sinking that embrace part of the Moesian platform and Sredna Gora, as well as the eastern Rhodopes [10]. The levelling lines cross the main fault ruptures of the Bulgarian territory which follow north-south-ward: Southmoesian, Breznik-Prezlav, the Balkan range, Cis-Balkan range and Maritsa. The elongated zones of the first and last fault comprise the most active well studied regions: Gorna Oryachovitsa and Plovdiv. They are featured with great frequency and high magnitude earthquakes $M=7,0$.

The complex implementation of remote sensing, geological, tectonic, geophysical and geodetic information which is realized along the suggested test site (Balkanprobe) will enable the investigation of the regional geodyna-

mics of the conflict area between the Eurasian and the African plates within the Alpine-Himalayan orogen.

2. Scientific goals and expected results

The suggested program (**BALKANPROBE**) may be considered as a continuation of the meridional profile of the **EUROPROBE** Program along the Balkans up to the Mediterranean sea. The **EUROPROBE** Project itself may be considered as a supplement of detailed local and micro-local information to the VEGENER — IDEAL Project. Using various ground-based and space methods this project will apply laser satellite observations.

The fundamental scientific purposes of the **BALKANPROBE** Project are:

a) determination of the recent joint movements of local and microlocal blocks along the Balkan and Bulgarian transect and namely: between different geostructural elements in the Balkans — Dinarides, Balkanides, Serbian-Macedonian and Rhodopean massives, which are distinguished by fault ruptures;

b) investigation of the neotectonic structures and the geodynamic processes along the Balkans which embrace large sectors of the Alpine-Himalayan orogen and the Bulgarian territory along the transect starting north-southward and encompassing the tectonic zone of the Misian platform, the PreBalkan range, the Balkan range, Sredna Gora mountain and the Rhodopean massive;

c) control of the inner stability of the regional and local lithospheric blocks of the Balkan peninsula and Bulgaria;

d) determination of the peripheral deformations of the Balkanides, Serbian-Macedonian and Rhodopean massives;

e) contribution via the local **BALKANPROBE** Project to the regional VEGENER — IDEAL for the investigation of the dynamic processes in the Alpine-Himalayan orogenic belt.

The scientific and applicable purposes embrace the following important tasks:

a) evaluation of seismic danger and prediction of deep focal earthquakes, applying subductive and slip-collision seismic models via empirical climatic verification;

b) determination of the relative movements of the large crustal blocks in great rifts and fault zones of the orogenic belt which are interesting for the prediction of shallow focal earthquakes and for the construction and exploration of important structures and complexes.

3. Methodical, technical patterns and scientific strategy

Europrobe to a great extent embraces considerable territory of the European continent. Combining the Europrobe transect with the VEGENER — IDEAL project this areal is further extended encompassing the Karpathian-Balkan region. Based on this large scale we clearly may group into two groups the investigated objects by areal coverage:

a) investigation of the continental (for distances 10^3 - 10^4 km) and regional (10^2 - 10^3 km) dynamics (plate, intraplate and block) with the help of space techniques;

b) investigation of the local (10² km) and microlocal (up to 10 km) dynamics (between the blocks) in order to reveal the recent differentiated movements of the crust and the corresponding variations of physical and other fields in the vicinity of the observation station.

The survey of regions marked by *a* on the site are realized mainly within the framework of the VEGENER—IDEAL Project with the aid of third generation laser equipment and the investigation in point *b* is made with the Europrobe project using GPS system and ground-based laser equipment.

Considering the extensive theoretical and model studies made with IDEAL Project [14, 15, 16] and some results obtained with the VEGENER Project [12, 13] we shall concentrate mainly on the transect projected over the Bulgarian territory in order to discuss the suggested goals for joint theoretical and experimental investigation.

3.1. On the possibilities of contemporary remote sensing applications

Large resolution capacity provided by remote sensing imagery ensures supplementary reliable information on the geological structures, the neotectonic formations and the fault zones. Considering these facts after the complete investigation of the available geological structures and in particular the faults on the Bulgarian territory, maps and schemes have been drawn in the Remote Sensing Department of the Space Research Institute in Bulgaria.

Thus available data were analysed with respect to levelling and gravimetric information and four profiles were projected crossing through I and II class levelling points and transecting the main fault zones (Fig. 1). We proceed in a similar way determining the triangular chains selected in a way as to start in the area of Belene and to encompass the region around Strazhitsa town and Chirpan where two immediate measurements of the reference network are available (Fig. 1). After analysing the networks a transect of 21 chords was identified. The latter will be determined with GPS measurements. Fig. 2 represents the available geomagnetic anomalies and the geophysical stations and seismic epicenters.

3.2. On using available groundbased data based on defined geodynamic test sites

As we mentioned before, the determination of the profile direction of the reference networks are selected in a way as to follow the direction of the meridional beam of the Europrobe transect in order to obtain natural inclusion of the Balkan profile into the European Project.

The vertical measurements on the Bulgarian territory started in 1928 and the first investigations of the vertical crust movements were made since 1929-1932. Particularly interesting results were obtained after the Chirpan earthquake when another measurement of the state levelling network was made and the results were used to analyse the vertical shifts of the fault zone regions [5, 6]. Recently these analyses resulted in mapping the vertical movement velocity both for the Bulgarian territory and the Karpathian-Balkan region.

Initially four levelling courses were identified No 1, 2, 3, 4 (Fig. 1) which comprize the levelling points of the I and II rank of the state levelling network. Throughout the selected courses there are two to four epochs, where high precision measurements are made and namely: 1924-1929, 1956-1960, 1975-1976,

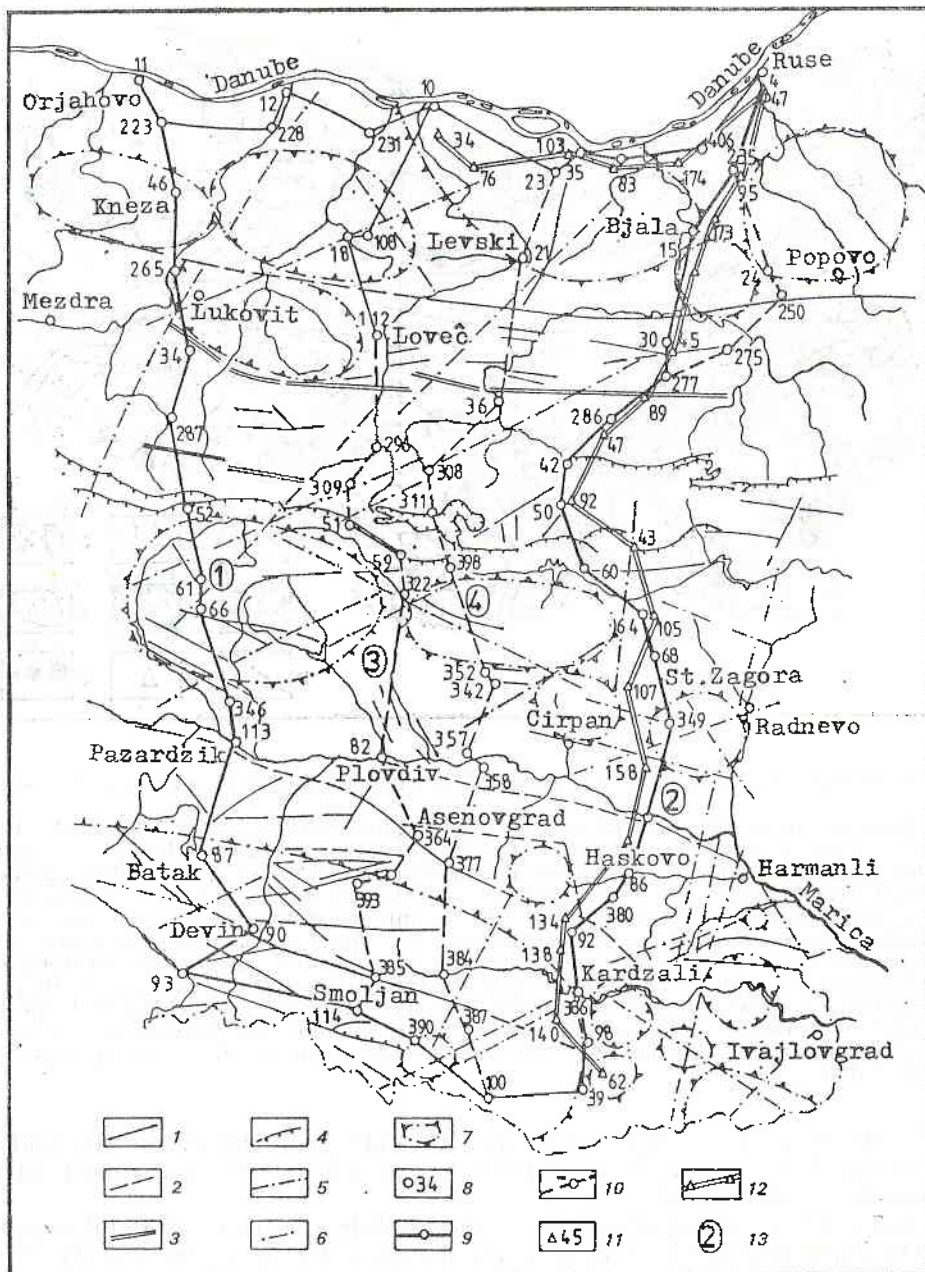


Fig. 1. Neotectonic map and triangulation network with plotted levelling lines
 1 — faults, 2 — suggested faults, 3 — flexures, 4 — overthrust, 5 — space geological lineament, 6 — suggested space lineament, 7 — ring structures, 8 — number of the levelling reference, 9 — first class levelling line, 10 — second class levelling line, 11 — triangular point, 12 — distance between triangular points, 13 — number of the levelling line

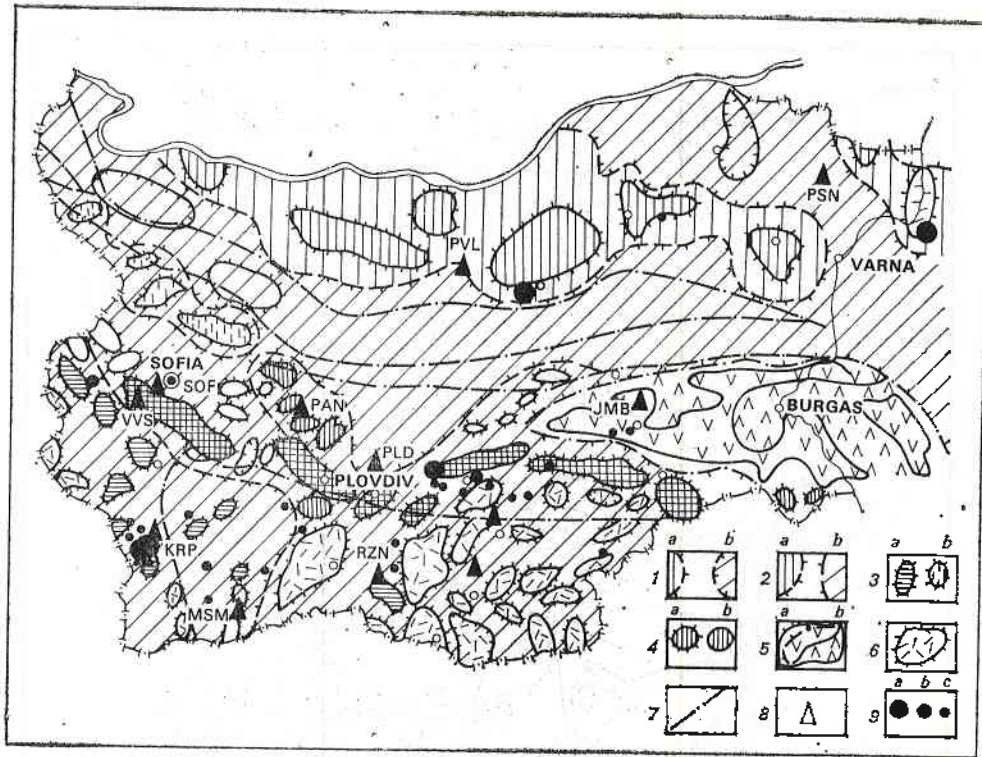


Fig. 2. Map of the magnetic field of Bulgaria and the location of the geophysical observatories

1 — zones of the positive field (a) and the total negative background of the magnetic field (b); 2—7 regioning of the magnetic anomalies by magmatic age and metamorphism: 2 — maxima (a) and minima (b) reflecting differently magnetized rock types in the Balkan basement of the Misian platform; 3 — maxima related with the magnetized rock formation distribution in the Wallachian and other metamorphic complexes (a) Struma dioritic formation and (b) Balkan range metamorphites and magmatites; 4 — magnetic maxima related with belts of upper cretaceous intrusions of Central Sredna Gora Mountain (a) and the southern belt of the Sredna Gora (b); 5 — positive (a) and negative (b) magnetic anomalies reflecting the distributions of upper cretaceous volcanites; 6 — magnetic anomalies related with the distribution of paleogenic and neogenic volcanic types; 7 — boundary between structural zones; 8 — seismological stations; 9 — earthquake magnitude: a) $M=7$, b) $M=6,0 \div 7,0$, c) $M=5,0 \div 6,0$

1987. The majority of data refer to transects No 1 and 2, the substantial fact being that transect No 2 is within regions where recently the most active seismicity is manifested.

Gravimetric measurements are made in Bulgaria since 1960 and in general the determination is made into the points of the levelling network. This far two cycles are realized and the third is not yet completed for the entire territory of the country. With the help of these data complex analysis will be made for the vertical and gravity anomalies for the present period and the attention will be mainly concentrated on regions where the transects cross the fault lineaments.

While vertical movements are subject to detailed studies in Bulgaria, the horizontal ones due to labour consuming procedures and the specifics of of the performance of high accuracy angular geodetic measurements just re-

cently entered our practice. This is due to the fact that there are no secondary measurements of the triangular network along the entire territory, as well as the fact that the accuracies we obtain with angular measurements only cannot satisfy the accuracy requirements for the investigation of the horizontal measurements. Considering this it was agreed to accept one chain of triangles, starting from Nikopol town (l. p. 34) parallel to Danube river up to l. p. 96 which is located between Russe and Byala (Fig. 1) following afterwards southern direction close to levelling chain No 2. We have immediate repetitive measurements for the regions of Strazhitsa and Chirpan and the areal networks will be processed. In [9] using data from 1921-1933 and secondary determinations made in 1956, the first measurements of the horizontal movements in Chirpan region were made and the results obtained show an explicit trend in north-western direction. We dispose of secondary measurements made in 1987 in Strazhitsa which also provide ground to start analysis and supplementary interpretation of horizontal movements in this region as well. Undoubtedly these studies with the aid of information obtained with classical measurements will provide for an approximate a priori estimation of the planned GPS measurements of the Balkans as a part of the Europrobe Project.

During the first stage of the measurements for a given region we shall use not only the mentioned data but also the available geophysical information. In order to determine the general nature of the epoch 1986 and the determination of the century course during the last 50 years by geomagnetic field elements, the computation of "normal" and "abnormal" fields and the unification of all absolute measurements made this far a general absolute geomagnetic picture of Bulgaria was made for the period 1978-1980 [4]. These data provide grounds to make the respective analyses and to search for the dependence between the movement of the lithospheric blocks and the anomalies in the geomagnetic field on the research site, i. e. to investigate one of the criteria for short term earthquake prediction.

The seismicity in Bulgaria is a part of the Alpine-Himalayan Belt seismicity. We have observed for the territory of Bulgaria a series of strong seismic events and only during this century five macroseismic events occurred with magnitude of $M=7,0$ [18].

With respect to former and future strong earthquakes the most interesting are the following seismic zones: Krcsna, Plovdiv, Shabla and Gorna Oryahovitsa [2].

3.3. On the possibility of applying modern available space techniques, classical equipment and the methods of the geodynamic investigations

Recent space technology — laser equipment and GPS systems reveal great possibilities to the high precision determination of point location and distance on the earth surface. This could be used in the determination of the lithospheric horizontal movements. The results from GPS measurements made in Bulgaria during the last two years explicitly show the possibility to determine the joint location of points on the earth surface with a relative error of the limits of 10^{-6} - 10^{-7} . With an appropriately selected program giving observational conditions and the methods of mathematical processing, the single frequency GPS receivers we dispose of can provide this accuracy at distance between the points of the order of 25-30 km. This allows to control the geodynamic networks or the basic lines, as well as to investigate

the changes in the network point location due to tectonic or technogenic factors [7]. In theoretical aspect the methods for the kinematic parameter estimation are defined, based on plate tectonic models developed with GPS measurement data on different epochs [7].

These accuracies allow to apply the GPS systems for measurements August-September 1991 along the transect over the Bulgarian territory. After these initial measurements with GPS instruments the results of previous triangular determination and the new spaceborne ones will be compared in order to provide initial estimation of the shift vectors for the selected points. This will enable the obtaining of quantitative estimates reflecting the local and micro-local geodynamics within the limits of the surveyed region for the period between triangulation and the measurements in 1991. Afterwards we shall make the following GPS measurements along determined transect. It may be reasonable to change the transect configuration in order to embrace regions where higher seismic activity was recorded. Further studies will be done based on comparison between GPS measurement results of former cycles. The high accuracy of these measurements especially if double frequency GPS receivers will be used allows to trace the geodynamics of the studied geotectonic structures with time discretion of 2-3 years.

The first instrumental registration of crust movement in Bulgaria was made in 1905. Nowadays 14 seismological stations operate in the country [2]. Since 1980 the National Express Telemetric System for Seismological Information operates in Bulgaria.

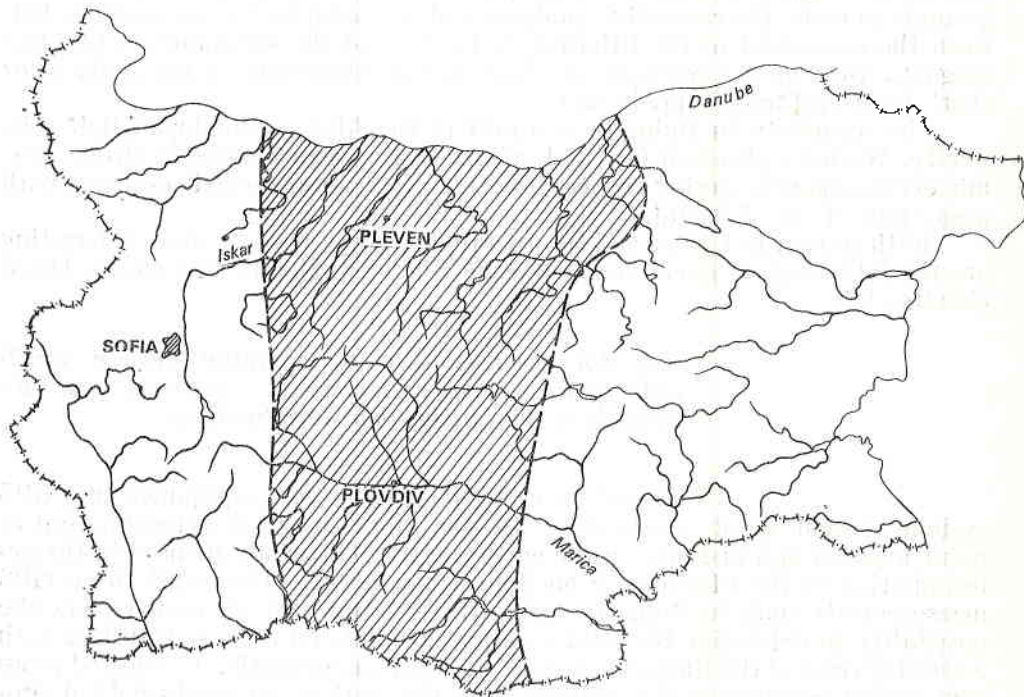


Fig. 3. Location of the test site on Bulgarian territory

4. Conclusion

We may consider that the complex of methodological, technical and organizational support is a serious background to start initially on the Bulgarian territory and afterwards on the Balkans a research activities within the coming 5-10 years based on the Europrobe Project. It is expected that during the research process large amount and various in type information will be stored: spaceborne (laser distance meters, GPS-measurements), geophysical (seismic, gravimetric, geomagnetic, meteorologic, geodetic), electrooptical and laser ground-based measurements, classical angular, levelling, gravimetric. The processing and the analysis of all the data requires for the establishment of advanced informational system, allowing for the rational selection, the systematization and the storage of the received information.

We should mention that the data from the both large projects VEGENER - IDEAL and EUROPROBE may provide a complex information on the regional, local and microlocal geodynamics.

References

1. Бончев, Е. Проблеми на българската тектоника. С., Техника, 1971. 202 с.
2. Григорова, Е., Л. Христосков, Д. Сокурова. Сизмични линейменти и активност на сизмичните етажи в България. — В: Геодинамика на България, 1980, 25—36.
3. Дачев, Х. Стросж на земната кора на България. С., Техника, 1988.
4. Костов, К., П. Ножаров. Абсолютни магнитни измервания в България 1887—1987. С., 136—139.
5. Младеновски, М. Отново върху опорните геодезически и гравиметрични мрежи. — Геодезия, картография, земеустройство, 1990, № 3.
6. Младеновски, М. Геодезическа обсерватория „Поломис“. — Геодезия, картография, земеустройство, 1990, № 4.
7. Минчев, М., Т. Таков, П. Гъбенски, Ц. Цонев. GPS-измервания, първи резултати у нас. — Геодезия, картография, земеустройство, 1990, № 2, 14—17.
8. Минчев, М. Предимства и недостатъци на геодезическите GPS-измервания. — Геодезия, картография, земеустройство, 1990, № 6, 23—26.
9. Стефанов, Л. Влияние на хоризонталните движения на блокове от земната кора върху съвременното състояние на държавната геодезическа мрежа на България. — Геодезия, картография, земеустройство, 1990, № 6.
10. Тотоманов, И., Б. Връблянски. Съвременните вертикални движения на земната кора в България и прилежащите земи. Геодинамика на Балканите. С., Техника, 1980, 138—149.
11. Воянов, I., H. Dabovsky, P. Gochev, A. Harkovska, V. Kostadinov, Ts. Tsankov, I. Zagorchev. A New View of the Alpine Tectonic Evolution of Bulgaria. — *Geologica Rhodopica*, 1, 1989, 107—121.
12. Geiss, E. Die Lithosphere im Mediterranean Raum ein Beitrag zu struktur Schwerfeld und Deformation. Munchen, DGK, 1984.
13. Gesse, P. et al. Explosion Seismic Crystal Studies in the Alpine-Mediterranean Region and Their Implications to Tectonic Processes. Washington, AGU, 1987.
14. Georgiev, N., I. Totomanov, A. Hadjiiski. Project for Investigation of the Dynamics of the European-Asian Lithosphere (IDEAL). — *GSTG Bulletin, Futur Missions, Systems and Projects*, 8, 1985.
15. Georgiev, N., I. Totomanov. Status, Prospects and Model Studies Related to the International Project IDEAL. — *Bulgarian Geophysical Journal*, 4, XII, 1986.
16. Georgiev, N., I. Totomanov, A. Hadjiiski, I. Georgiev, V. Kossev. Model studies on the use of laser satellite observations for the regional geodynamic Project IDEAL. — *Geodesy*, 13, 1988.

17. Makarov, V. I., H. B. Spiridonov. Young tectonics of the Rhodope Massive and nearby areas. — *Geotectonics*, 16, 1982, No 2, 136-146.
18. Mardirossian, G., B. Grigorov. Characteristics of New Seismological Observatories in Bulgaria. — *Comp. rend. Acad. bulg. Sci.*, 33, 1980, No 12, 643-646.
19. Rangelov, B., D. Gospodinov. On some peculiarities of the seismicity and its spatial distribution for the Balkan Peninsula region. — *Bulg. Geophys. J.*, VIII, 1982, No 2, 59-65.

Received 17. VI. 1991

Космически, наземни и моделни изследвания на литосферните движения на Балканския полуостров и в България в рамките на проекта „Европроб“

*Никола Георгиев, Гаро Мардиросян,
Младен Младеновски, Хернани Спиридонов*

(Резюме)

В статията се обсъждат целите, перспективите и методите на изследване на движенията на литосферата на Балканите и България в съответствие с проекта „Балканпроб“, който е южно отклонение на европейския геодинамичен проект „Европроб“.

За решаване на тези задачи комплексно се използват аерокосмически, геодезични, геофизични и геолого-тектонски материали, измервания и наблюдения.

Комплексните изследвания се провеждат по дължината на геодинамичен траверс, който пресича напречно основните тектонски зони от територията на България, а така също и разделящите ги разломни нарушения. Някои от тези дислокации имат и сеизмогенен характер.

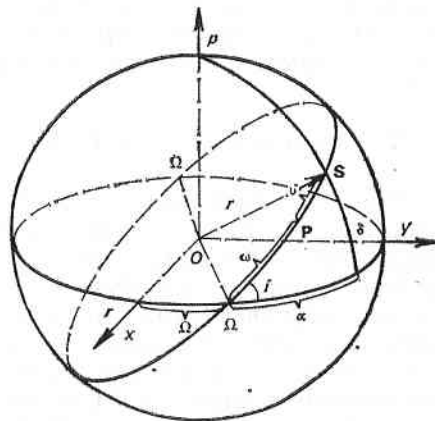
Крайната цел на проекта „Балканпроб“ е изучаването на геодинамиката на територията на Балканите и задачата ще се осъществява през настоящото последно десетилетие на XX век.

Използване на аналитични методи за определяне на орбитите на ИСЗ при дистанционните изследвания на Земята

Никола Георгиев, Хернани Спиридонов

Институт за космически изследвания, БАН

Още в първите години на използване на изкуствените небесни тела (изкуствени спътници на Земята — ИСЗ, и космически апарати — КА) се установи, че за успешното решаване на космическите експерименти е необходимо не само апаратурно осигуряване, но и определяне на орбитите на ИСЗ и КА (фиг. 1) с точност, осигуряваща съответните изследвания. Този факт даде основание да се насочат усилията на много учени и цели колективи в разработване и усъвършенстване на различни методи и програмни продукти за пространственото определяне на положението на ИСЗ за различни интервали от време. Понастоящем са приети за практическо използване две принципино различни групи методи, а именно:



Фиг. 1

1. Методи за числено интегриране на уравненията на движението на ИСЗ;

2. Аналитични теории за определяне на движението на ИСЗ.

Качествата на който и да е от използваните методи се диктува от няколко главни фактора - точността, с която се определя орбитата, необходимото машинно време за изчисление, продължителността на времевия интервал (дни, месеци, години), за който се определя движението на ИСЗ.

С усъвършенстването на земните и бордовите апаратури, с повишаването на точностите в определяните и измервани до ИСЗ и от ИСЗ изучавани обекти, геодинамични и космически процеси се повишаваха съответно и точностите в определяне на орбитите, като за един или друг случай се предпочиташа съответно числени или аналитични методи в зависимост от изследваните обекти, тъй като всеки един от методите притежава едни или други положителни качества и недостатъци. При числените методи може да се подадат непосредствено на ЕИМ диференциалните уравнения на движение и за сметка на по-голямото изразходвано машинно време да се получат крайните резултати, характеризиращи пространственото положение на космическия обект. Но от тези данни не сме в състояние да направим анализи на влиянието на едни или други смущения. При аналитичните методи тези недостатъци са избегнати за сметка на времето, необходимо за извеждане и получаване на изрази и формули, с чиято помощ може да се получат гравитационните и негравитационните смущения. Съществено е в случая, че можем да анализираме големината на тези смущения при различните видове спътници в зависимост от точността, с която трябва да се определят орбитите и в зависимост от тяхното предназначение и целите на изследванията. Така, докато при глобалните, регионалните и локалните геодинамични изследвания с помощта на ИСЗ са необходими много високи точности (от няколко сантиметра до един-два дециметра), и то за дълги периоди от време, то при други изследвания, като например при метеорологичните изследвания или при дистанционното изучаване на Земята (точността на орбиталната апаратура може да осигури точности от няколко десетки метра до стотици или хиляди метра), определянето на орбитата на КА не е необходимо да се извършва с възможните най-високи точности и за дълги периоди от време (тъй като КА биват коригирани с команди от съответните центрове). Изискванията за по-малка точност дават възможност да се използват само тези корекции от смущенията, които ще осигурят необходимата ни точност. Това от своя страна води до изразходване на значително по-малко машинно време и което е съществено, изчисленията могат да се извършат с настолни компютри.

I. Теоретични основи на аналитичните методи

Ще направим анализ на корекциите, които трябва да бъдат използвани при спътниците, предназначени за дистанционното изследване на Земята, като ще се възползваме от разработената аналитична теория [1, 2, 3] на основата на обобщения асиметричен метод на два неподвижни центъра [4]. Същественото на получените формули при тази теория е, че още в диференциалните уравнения на движение са включени основните смущения от зоналните хармоники J_2 (величината, която е 1000 пъти по-голяма от останалите членове), а така също J_3 и частично J_4 , с което за разлика от традиционно използваната Кеплерова орбита, при която корекциите от зонални хармоники имат стойности от 10^{-3} , тук най-големият член от смущаващата функция е със стойност 10^{-6} . Не е без значение

и фактът, че тук корекциите са дадени в явен вид, което ни позволява да извършим съответните оценки на отделните смущения от: зоналните, тесералните, секторалните, атмосферата и от други фактори.

Получените диференциални уравнения [1] са дадени в сфероидна координатна система и техният вид е следният:

$$(1) \quad \begin{cases} \frac{d^2\xi}{d\tau^2} = \frac{\partial \bar{W}}{\partial \xi} + \xi^4 \frac{\partial \bar{R}}{\partial \xi} + F_\xi, \\ \frac{d^2\eta}{d\tau^2} = \frac{\partial \bar{W}}{\partial \eta} + \xi^2(1-\eta^2) \frac{\partial \bar{R}}{\partial \eta} + F_\eta, \\ \frac{d^2\omega}{d\tau^2} = \frac{\partial \bar{W}}{\partial \omega} - \frac{\xi^2}{1-\eta^2} \frac{\partial \bar{R}}{\partial \omega} + F_\omega. \end{cases}$$

където \bar{W} е силова функция на промеждутъчното движение; \bar{R} — смущаваща функция на гравитационните сили; F_ξ , F_η , F_ω са негравитационни смущения; ξ , η , ω — координати в сфероидна координатна система; τ е регуляризирано време.

От изразите (1) са получени формули, даващи стойностите на сфероидните координати

$$(2) \quad \xi = \sum_{i=0}^n a_i \tau^i, \quad \eta = \sum_{i=0}^n b_i \tau^i, \quad \omega = \sum_{i=0}^n d_i \tau^i.$$

Стойностите на коефициентите и подробното и систематизирано изложение на изводите е дадено в [5].

Изразите за корекциите от гравитационните и негравитационните смущения имат аналогичен строеж:

$$(3) \quad \delta\xi = \sum_{i=0}^5 \lambda_i \tau^i, \quad \delta\eta = \sum_{i=0}^5 \mu_i \tau^i, \quad \delta\omega = \sum_{i=0}^5 \nu_i \tau^i.$$

Тези изрази дават възможност за определяне на корекциите от смущенията непосредствено в координатите на промеждутъчното движение.

Ще анализираме стойностите, които се получават при гравитационните и негравитационните смущения за най-използваните спътници при дистанционни изследвания на Земята, като и тук ще процедираме както в [7, 8]

II. Изрази за определяне на гравитационните смущения като функция на сфероидните координати

Гравитационните смущения \bar{R}_G може да представим като сума от вида

$$(4) \quad \bar{R}_G = \bar{R}_Z + \bar{R}_{T,S} + \bar{R}_{L,S} + \bar{R}_I + V_a,$$

където смущенията са следните: \bar{R}_Z са от зонални хармоники; $\bar{R}_{T,S}$ — от тесерални и секторални хармоники; $\bar{R}_{L,S}$ — от Лунно-Слънчевия потенциал; \bar{R}_I — от приливния потенциал; V_a — от потенциала на привличане на атмосферата.

Получените изрази за \bar{R}_Z и $\bar{R}_{T,S}$ имат следния вид:

$$(5) \quad \bar{R}_Z = \sum_{n=4}^{\infty} \sum_{p=0}^e \gamma_n L_{n,p} \xi^{-(n+1)} \eta^{(n+2p)},$$

$$(6) \quad \bar{R}_{T,S} = \sum_{n=4}^{\infty} \sum_{p=0}^e \sum_{m=1}^n \gamma_{nm} \xi^{-(n+1)} \eta^{(n-m-2p)} (1-\eta^2)^{m/2} \cos m(\omega - \Omega_{nm}).$$

В (5) и (6) са направени следните означения:

$$(7) \quad \begin{cases} \gamma_{nmp} = \gamma_{nm} A_{n-2}^{m-1} L_{np}; & \Omega_{nm} = \omega_{\odot}(t-t_0) + \lambda_{nm}, \\ A_{n-2}^{m-1} = \frac{(n-2p)!}{(n-m-2p+1)!}; & \gamma_{nm} = \mu J_{nm} r_0, \\ \gamma_n = \mu j_n r_0^n; & j_n = J'_n - J_n; & L_{np} = (-1)^p \frac{(2n-1-2p)!}{(n-2p)! (2p)!}. \end{cases}$$

Диференцирайки (5), респ. (6) по ξ , η , ω , съгласно формула (1), се получават изразите

$$(8) \quad A_k = \xi^4 \frac{\partial \bar{R}_k}{\partial \xi}; \quad B_k = \xi^2 (1-\eta^2) \frac{\partial \bar{R}_k}{\partial \eta}; \quad D = \frac{\xi^2}{1-\eta^2} \frac{\partial \bar{R}_k}{\partial \omega},$$

където $k=Z; T; S$ и стойностите подробно са представени в [5].

Тук ще дадем само крайните изрази за смущаващата функция \bar{R}_1 при преките Лунно-Слънчеви смущения и за смущаващата функция \bar{R}'_1 за косвените Лунно-Слънчеви смущения от приливния геопотенциал, а именно:

$$(9) \quad R_{L,S} = \bar{R}_1 + \bar{R}'_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{f m_1 \xi}{2} + \frac{\beta \gamma}{\xi} \right) \times \left[1 - \frac{3}{r_1^2} (x_1 \sqrt{1-\eta^2} \cos \omega + y_1 \sqrt{1-\eta^2} \sin \omega + z_1 \eta) \right],$$

където $\gamma = \left(\frac{r_0}{p} \right)$; $p = r(1 - e \cos \omega)$; $\beta_1 = k \frac{m_1}{m} \left(\frac{r_0}{a_1} \right)^3$.

Индексите $l=L$ или S се отнасят съответно за смущаващите тела, т. е. L се отнася за Луната, а S се отнася за Слънцето; m_1 и a_1 са масата и средният радиус на Луната и Слънцето.

III. Негравитационни смущения като функция на сфероидните координати

Всъщност негравитационните смущения \bar{R}_{NG} , подробно разгледани в [5], формално ще запишем като алгебрична сума от вида:

$$(10) \quad \bar{R}_{NG} = \bar{R}_{E_{i,1}} + \bar{R}_{E_{i,2}} + \bar{R}_{E_{i,3}} + \bar{R}_{E_{i,4}} + \bar{R}_{E_{i,5}}.$$

В [8] са означени следните смущения: $R_{E_{i,1}}$ — от съпротивлението на атмосферата без и с отчитане на високата атмосфера; $R_{E_{i,2}}$ — от прякото светлинно налягане; $R_{E_{i,3}}$ — от отразеното от Земята светлинно налягане;

$R_{E,4}$ — от магнитното поле на Земята; $R_{E,5}$ — от топлинното излъчване на Земята.

Тук няма да дадем изразите за всяко негравитационно смущение, които могат да се намерят в посочените публикации, тъй като целта на настоящата работа е анализиране на влиянието на смущението върху движението на ИСЗ.

IV. Анализ на гравитационните \bar{R}_G и негравитационните \bar{R}_{NG} смущения, влияещи върху движението на спътниците за дистанционното изучаване на Земята

За дистанционно изследване на Земята ИСЗ и КА се извеждат на орбита, за която може да приемем, че е със средна височина от 300—400 km до 1000—1500 km и наклон на орбиталната равнина от $i=30^\circ$ до $i=110^\circ$. Тези условия се явяват най-подходящи за разделителната способност на бордовата радио- и фотографска апаратура. На такива височини са изведени голяма част от съветските спътници „Космос“, американските „Тайрос“, ЕССА и спътниците от типа „Ландсат“ — 1, 2, 3.

При спътниците на такива височини влиянието на атмосферата и гравитационните смущения от Земята са чувствителни, независимо че при разглежданата теория голяма част от силно влияещите коефициенти като J_2 , J_3 и J_4 са включени в началните диференциални уравнения на движението на ИСЗ.

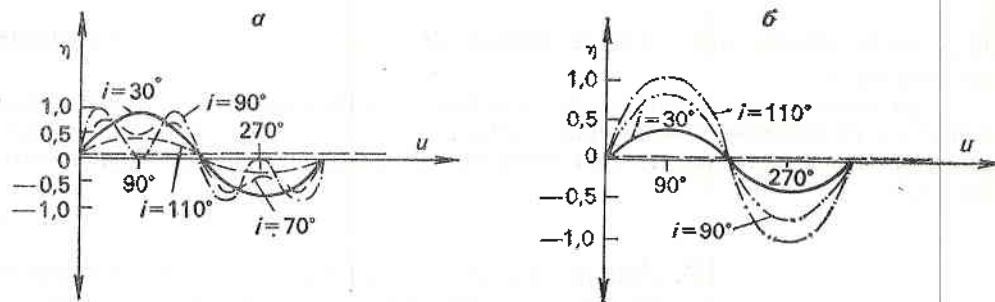
За да се получи по-ясна геометрична представа при анализа на отделните влияния от смущенията върху пространствените координати на спътника, ще изразим сфероидните координати ξ , η и ω чрез известните ни сферични координати:

$$\begin{aligned} \xi & \text{ е псевдо-геоцентричен радиус-вектор } r \ (0 < r < 1); \\ \eta & \text{ — псевдо-деклинация } \delta \ (0 < \eta < 1); \ \eta = \sin i \sin u = \sin \varphi; \\ \omega & \text{ — псевдо-ректасцензия } \alpha, \ \text{т. е. } u = \omega + v. \end{aligned}$$

Необходимо е да се отбележи още един момент, а именно, че за определянето на $\delta\xi(\delta r)$, $\delta\eta(\delta\varphi)$, $\delta\omega(\delta\alpha)$, $\delta\xi'$, $\delta\eta'$, $\delta\omega'$ е използван модел на гравитационните смущения GEM-10, а за атмосферата — CIRA-72. Без претенции за универсалност и след направените предпоставки, изхождайки от приведените формули (5) и (6), чрез изразите (8) може да получим съответните формули за корекциите (които са дадени в [5]), с чиято помощ може да направим предварителна оценка за максималните и минималните корекции от гравитационните \bar{R}_G и негравитационните \bar{R}_{NG} смущения при различните височини H и паклони i на спътниците. Както вече споменахме, при ИСЗ и КА, използвани за дистанционно изследване на Земята, невинаги са необходими високи точности в определянето на орбитите, и то за дълги интервали от време, факт, който дава основание да се предпочитат аналитичните теории, в чиито начални диференциални уравнения на движението да се съдържат по възможност по-голяма част от смущаващите коефициенти, с което може да се ограничим при определяне само на по-съществени корекции от геопотенциала и негравитационните смущения.

От графиките на фиг. 2, а и б, които са изчислени от (5) при $n=4$ и $p=1$, може да се направят следните изводи:

1. Функциите $A_z = \xi^4 \frac{\partial \bar{R}}{\partial \xi}$ и $B_z = \xi^2 (1 - \eta^2) \frac{\partial \bar{R}}{\partial \eta}$ при наклон $i=0^\circ$, т. е. за



Фиг. 2

екваториални спътници, имат стойност нула независимо от височината на спътника. Следователно стационарните спътници, които предимно се използват за телевизионни и телефонни връзки, а и за други по-ниски спътници, влиянието на зоналните, секториалните и тесералните смущения са без значение.

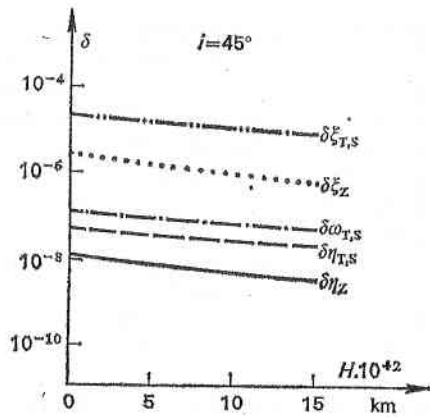
2. Функцията A_z (смущенията от зоналните хармоники) при $i=30^\circ$, 90° и 110° има максимални стойности (фиг. 2, б), когато спътникът се намира на разстояние от екватора $u=90^\circ$ и 270° , а минимални стойности при $u=0^\circ$ и 180° .

3. Функцията B_z има широк спектър на максимални и минимални смущения (фиг. 2, а), което е естествено и от физична гледна точка. Така при i от 5° до 30° и при $i > 100^\circ$ максималните смущения се получават при следните интервали за u — от 60° до 120° и от 240° до 300° , а при i от 45° до 90° се получават минимални стойности, когато $u=0^\circ$, 90° , 180° и 270° , а максимални при $u=30^\circ$, 160° , 210° и 330° .

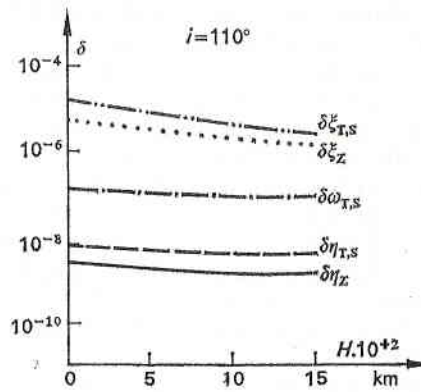
На фиг. 3, 4, 5 и 6 са определени смущенията от гравитационния потенциал на шестте параметъра, характеризиращи орбитата, в случая $\delta\xi(\Delta r)$, $\delta\eta(\Delta\delta)$, $\delta\omega(\Delta\alpha)$, $\delta\xi'$, $\delta\eta'$ и $\delta\omega'$ за два наклона на орбитата $i=45^\circ$ и $i=110^\circ$, ексцентритет $e=0,005$ и височина на спътника H , характерна за споменатите спътници, от 100 km до 1500 km. Въз основа на получените графични изображения, които дават визуална представа за изменението на стойностите на смущенията в отделните елементи на орбитата с изменение на височината H на спътника, може да се направят следните изводи:

4. При $i=45^\circ$ корекциите в псевдогеоцентричния радиус-вектор $\delta\xi_{T,S}(\Delta r_{T,S})$ (фиг. 3) от секториални и тесерални хармоники (S, T) имат стойности от $1,8 \cdot 10^{-5}$ при $H=100$ km и достигат до $9 \cdot 10^{-6}$ за $H=1500$ km, при това тяхната стойност много бавно намалява с височината. Зоналните смущения (Z) съответно варират от $4,2 \cdot 10^{-6}$ за $H=100$ km до $8 \cdot 10^{-7}$ за $H=1500$ km. В случая за типичните спътници, използвани при дистанционно изследване на Земята, с орбитален наклон до $i=110^\circ$ смущенията от T, S са от $1,2 \cdot 10^{-5}$ за $H=100$ km до $3,8 \cdot 10^{-7}$ за $H=1500$ km (фиг. 4). По-интересни са резултатите от Z, които са чувствително по-малки при тези наклона и варират за $H=100$ km и 1500 km от $7 \cdot 10^{-5}$ до $1,4 \cdot 10^{-6}$. Това показва, че наклона на спътниците също оказват, и то значителни изменения в смущенията.

Трябва да се има предвид, че тези смущения оказват влияние в псевдогеоцентричния радиус-вектор, т. е. може да приемем, че тези смущения са в посока на надира. Следователно, ако не се отчетат тези корекции, независимо че техните стойности са чувствителни и за няколко оборота, денонощия



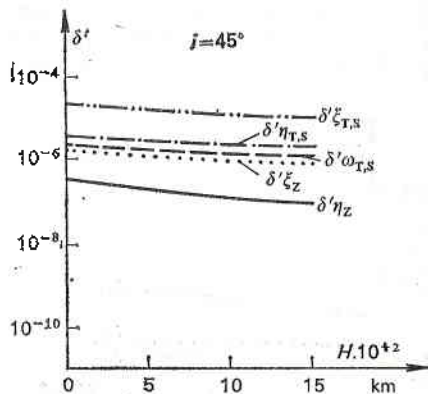
Фиг. 3



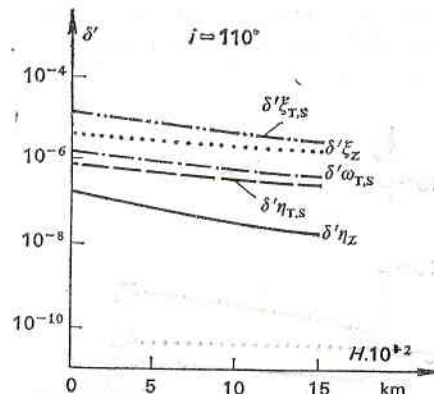
Фиг. 4

или седмици може да достигнат няколко стотици или хиляди и повече километри, тяхното влияние ще се отрази на мащаба на оптико-механичното сканирано изображение или фотографското изображение. При радиосканирането на физическата земна повърхност, магнитните изучавания и други тези стойности може да не окажат влияние върху получените резултати. Независимо от съображенията, които изказахме за тези смущения, трябва да отбележим, че за интервали от няколко оборота те трябва да се отчитат.

5. Фиг. 5 и 6 дават възможност да отчетем и стойностите на корекциите, които влияят върху сферичните координати η и ω (псевдодеклинацията и ректасцензията). Техните стойности са с един и повече порядъка по-малки от корекциите в $\delta\xi$ (Δr) за различните височини H от 100 km до 1500 km и за наклонените i от 45° до 110° , като съответно варират от $\Delta\alpha_{T,S} = 1,2 \cdot 10^{-7}$ до $\Delta\delta_{T,S} = 7 \cdot 10^{-9}$. Съществено е, че тяхното влияние в $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ дава изменения в пространственото положение на ИСЗ, и в случая, ако тези смущения се пренебрегнат за няколко оборота или седмица, бихме получили изменения в псевдодеклинацията и ректасцензията от хиляди километри, или по-точно



Фиг. 5



Фиг. 6

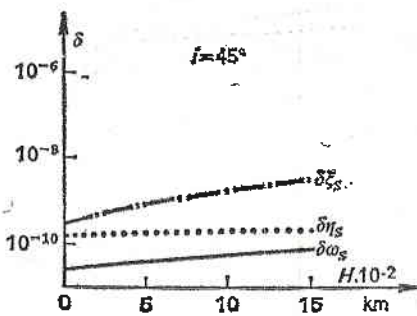
от порядъка на няколко десетки градуса в δ и α . Тези неотчетени гравитационни корекции биха довели до съответни грешни интерпретации на получените резултати, особено ако сканиранията са предимно от радиовисотомерни, магнитни и други измервания, при които не получаваме изображения, даващи визуални представи за физическата земна повърхност. Тук ще отбележим още един факт, че при $i=110^\circ$ гравитационните корекции са чувствително по-малки по стойност и тяхното изменение с изменение на височината H от 1500 km е чувствително по-слабо (фиг. 5).

6. На фиг. 7 и 8 са представени влиянията на гравитационните смущения от Слънцето и Луната (S, L). Вижда се, че върху спътниците, летящи на височина до 1000 km, влиянията на тези смущения са минимални и е подходящо да се отчитат, когато е необходима точност от няколко десетки сантиметра до 1—2 метра.

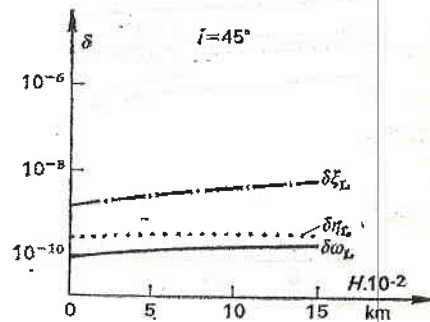
И при тези смущения най-големи са влиянията в псевдогеоцентричния радиус-вектор r . Така при $H=100$ km те са от порядъка на 7.10^{-10} в $\delta\xi_S(\Delta r_S)$, а в $\delta\xi_L(\Delta r_L)$ — $2,8.10^{-10}$ и съответно достигат при $H=1500$ km в $\delta\xi_S(\Delta r_S)$ — $6,2.10^{-10}$, а в $\delta\xi_L(\Delta r_L)$ — $7,8.10^{-9}$, т. е. това са влияния в началния момент $\tau = \frac{1}{\xi^2 + c^2 \eta^2} \Delta t = 0$ и са всъщност от 2 до 8 mm. Влиянията в останалите две координати η (δ) и ω (α) са значително по-малки — фиг. 7 и 8. Следователно при необходимата точност в определянето на орбитата от няколко стотици метра корекциите от гравитационните смущения от Слънцето и Луната за период от десет дни не е необходимо да се отчитат.

7. При така приетата точност в определяне на орбитата за ИСЗ и КА за изследване на Земята ще отбележим, че гравитационните смущения от типа на приливния потенциал, потенциала на привличане на атмосферата, планетите от Слънчевата система и на релятивистките ефекти в движението на ИСЗ не е необходимо въобще да се взимат под внимание. Някои от тези смущения могат да имат ефекти при спътници балони или ИСЗ с големи слънчеви батерии и голямо тегло.

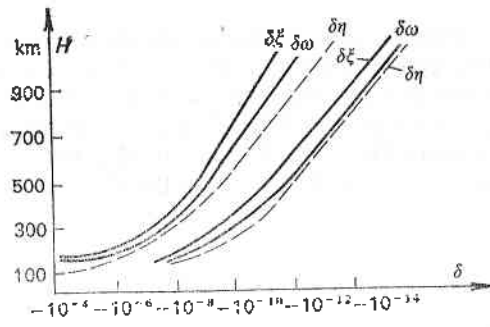
8. Едни от най-трудно определяемите корекции, оказващи силно влияние върху спътниците до 1000—1500 km, са негравитационните смущения, и предимно влиянието на атмосферата $\bar{R}_{N,G}$, които зависят от много фактори и са трудно прогнозируеми. Това влияние е много голямо за ниски спътници, което се вижда от фиг. 9, където въз основа на направените изчисления се получават стойности на смущенията във функциите $F_{\xi,1}$, $F_{\eta,1}$, $F_{\omega,1}$. При ниски спътници, каквито обикновено са КА за изучаване на Земята, големината на смущенията от съпротивление на атмосферата е почти равна на голе-



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

мината на гравитационните смущения от геопотенциала. Динамичният характер на атмосферата, бързите изменения на плътността ѝ, предизвикани от слънчева активност, магнитни бури и др., създават затруднения при определянето на смущенията от атмосферата, а също и при създаването на адек-

Независимо че анализите и изводите са направени, като е използвана конкретна аналитична теория, поради което получените резултати не трябва да се пренасят механически за всяка теория или числен метод, но трябва да се отбележи, че много от изводите са общовалидни и може да се вземат предвид при обработката на материала, получаван от бордовата апаратура на ИСЗ и КА за дистанционно изследване на Земята.

Литература

1. Георгиев, Н. Определение координат промежуточного движения ИСЗ с помощью степенных рядов регуляризованного времени. — Труды ГАИШ, 49, 1979.
2. Георгиев, Н. Степенные ряды для возмущений координат промежуточного движения от зональных гармоник геопотенциала. — Труды ГАИШ, 49, 1979.
3. Георгиев, Н. Степенные ряды возмущений координат ИСЗ от тассеральных и секториальных гармоник геопотенциала. — Науч. инфор. Астр. совет АН СССР, 1978, № 40.
4. Аксенов, Е. П. Теория движения искусственных спутников Земли. М., Наука, 1977.
5. Георгиев, Н. и др. Использование оптических наблюдений ИСЗ для геодезии. С., БАН, 1979.
6. Стоянов, Л., Н. Георгиев. Возмущения в промежуточном движении ИСЗ из-за магнитного поля Земли. Набл. ИСЗ № 20. С., БАН, 1980.
7. Georgiev, N., V. Kotseva. An analysis of the influences of gravitational nature by using an analytical theory for artificial satellite movement. — Adv. Space Res., 5, 1985, No 2.
8. Georgiev, N. Utilization of analytical methods for orbit determination in high accuracy geodetic positioning. COSPAR, Meeting India, Dordrecht, 1986, Holland.
9. Georgiev, N., A. G. Mashevitch. The geodetic experiment of the satellite INTERKOSMOS — Bulgaria-1300. Hamburg, FRG, 1980.

Постъпила на 19. XII. 1991 г.

Use of analytical methods for determining the orbits of artificial earth satellites in remote sensing of the Earth

Nicola Georgiev, Hernani Spiridonov

(S u m m a r y)

The analytical methods for determining the orbits of the artificial earth satellites provide potentialities not only for high-frequency determination of the satellites' position but also for performing of some analyses and drawing of some conclusions about the influence of gravitational and non-gravitational disturbances on different types of artificial earth satellites.

It is namely these potentialities of the suggested analytical theory that have been used in the paper where the influence of different disturbances upon satellites for remote sensing of the earth has been analysed. Recommendations have been made about the disturbances to be used with a view to securing the necessary accurateness in the obtained observations processing.

Approximation of the out-of-focus intensity distribution for images having a Gaussian point source function

Dimitr Dimitrov

Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences

Introduction

It is well known that long exposure observations through a random turbulent medium by large aperture optical systems do not give diffraction limited spatial (angular) resolution. In that case the response function of the "telescope+atmosphere" system is not the Airy's diffraction pattern but an extended spot which size is one or even two orders of magnitude larger than the diameter of the Airy's central spot. In this paper we assume that the observed point source causes a Gaussian intensity distribution $g_0(r_0)$ of the light in the focal plane (x_0, y_0) of the optical system

$$(1) \quad g_0(r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2}) = S_0 \exp(-r_0^2/2\sigma_0^2),$$

where σ_0 is a constant determining the size of the circular spot. $S_0 = S_0(\sigma_0)$ is a normalization constant depending on the total energy flux of the image. We consider images on the principal optical axis and fully neglect the distortion effects like coma, astigmatism, etc. We also assume that σ_0 is much greater than the Airy's pattern and, consequently, the geometric optics approximation is a good approach.

Definition of the problem

Let us denote by (x', y') the input aperture plane and by (x, y) the out-of-focus plane where the light sensitive detectors are placed. The origins of the coordinate systems lie on the principal optical axis and the corresponding coordinate axes are parallel and aligned in the same directions. We also denote by f and Δf the focal length and the distance between (x_0, y_0) and (x, y) , respectively. Further we shall assume that the circular

input aperture of the optical system has a central screening (as it is usual for the large telescopes). Consequently, the area of the input aperture is a ring with inner radius r_1 and outer radius r_2 . Let us denote by $h(x, y)$ the point-spread function of this out-of-focus optical system, i. e., this is the intensity distribution in the out-of-focus plane (x, y) when the system is illuminated by light rays parallel to the principal axis. According to the accepted geometrical optics approach, the illuminated area is a ring with inner radius r_1 and outer radius r_2 ($r_2/f = r_2/\Delta f$). Obviously, the screened part of the input (output) aperture is characterized by the relations $r_1'/r_2' = r_1/r_2 = E = \text{const} < 1$. Therefore, within a normalizing multiple, $h(x, y)$ is given by

$$(2) \quad \bar{h}(r = \sqrt{x^2 + y^2}) = \begin{cases} 1, & \text{if } r_1 \leq \sqrt{x^2 + y^2} \leq r_2; \\ 0 & \text{in the other cases.} \end{cases}$$

We shall investigate the distortions caused by the out-of-focus registration of the intensity distribution $g(x, y)$ conditioned by a point source observed through a turbulent medium. Supposing that the principle of the linear superposition is fulfilled, we may write

$$(3) \quad g(r) \approx g(x, y=0) = \iint_{-\infty}^{\infty} g_0(x-\xi, -\eta) h(\xi, \eta) d\xi d\eta,$$

where we have taken into account the circular symmetry of the image. It would be stressed that the coordinates x, y, ξ and η are referred to the out-of-focus plane, while the coordinates x_0 and y_0 are referred to the focal plane.

The observed intensity distribution $g(x, y)$ may be fitted by a quasi-Gaussian function

$$(4) \quad g(r) \approx g(x, y=0) = S \exp[-x^{2n(x)}/B];$$

$$B = (2\sigma^2)^{n(x)},$$

and, generally speaking, we expect that for this approximation the power n is not a constant and will depend on r (or x , because we investigate the radial distribution in the direction $y=0$). It is not difficult to obtain an analytical expression for the global behaviour of the power $n(x)$ if we assume that this quantity does not vary too fast into the interval $(x-\Delta x, x+\Delta x)$, where $\Delta x \ll \sigma$. Taking the natural logarithms from the left and right hand sides of the equation (4) and differentiating with respect to x , after some trivial algebra we obtain [1]

$$(5) \quad n(x) = 0,5 \left[1 + x \left(\frac{g''(x)}{g'(x)} - \frac{g'(x)}{g(x)} \right) \right],$$

where the prime's denote differentiating with respect to x . By means of the above approximate expression we shall evaluate the global (with respect to the size of the image) changes of the power n which describes the slope of the intensity distribution $g(x)$.

Hereafter in this paper we shall consider σ_0 as a strictly positive quantity ($\sigma_0 > 0$) setting also $S_0 = 1$ for a fixed value of σ_0 . The case $\sigma_0 = 0$ has a trivial interpretation: the point-spread function of the turbulent medium is a δ -function and (in the geometrical optics approach) the out-of-focus intensity

distribution $g(x, y)$ is a circular ring with a constant nonzero value. Out of the ring the intensity is equal to zero. It is useful to introduce polar coordinates ρ and θ

$$(6) \quad \xi = \rho \cos \theta; \quad \eta = \rho \sin \theta.$$

Substituting (1), (2) and (6) into (3), we obtain

$$(7) \quad g(x, y=0) = g(x) = \int_0^{\infty} \rho h(\rho) \int_{-\pi/2}^{3\pi/2} \exp \left[-\frac{x^2 + \rho^2 - 2x\rho \cos \theta}{2\sigma_0^2} \right] d\theta d\rho \\ = \int_{r_1}^{r_2} \rho A(x\rho/\sigma_0^2) \exp [-(x^2 + \rho^2)/2\sigma_0^2] d\rho,$$

where we have denoted by $A(x\rho/\sigma_0^2)$ the expression

$$(8) \quad A(x\rho/\sigma_0^2) = \int_{-\pi/2}^{3\pi/2} \exp(x\rho \cos \theta/\sigma_0^2) d\theta = 2\pi J_0(-ix\rho/\sigma_0^2).$$

In the above equality J_0 is the first kind Bessel function of order zero [2,3]. Further we shall use the development of the Bessel function J_0 in powers of its argument [2,3]. We find that

$$(9) \quad A(x\rho/\sigma_0^2) = 2\pi \sum_{k=0}^{\infty} (k!)^{-2} (x\rho/2\sigma_0^2)^{2k}.$$

As can be seen from the numerical values of the first eight terms ($k=0, 1, \dots, 7$), the above expression shows a fast convergence. In practice, it is enough to restrict (9) to a partial sum with a maximal value of k equal to 6-7. The obtained accuracy is sufficient for the considered range of values of $(x\rho/\sigma_0^2)$. According to (9), the radial intensity distribution $g(x)$ (7) may be rewritten in the following way

$$(10) \quad (2\pi)^{-1} g(x) = \sum_{k=0}^{\infty} \left(\frac{1}{k!} \right)^2 \int_{r_1}^{r_2} \rho \left(\frac{x\rho}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \exp \left[-\frac{x^2 + \rho^2}{2\sigma_0^2} \right] d\rho,$$

or

$$(11) \quad (2\pi)^{-1} g(x) = B_0(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\left(\frac{1}{k!} \right)^2 \left(\frac{x}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] B_k(x),$$

where we have set

$$(12) \quad B_0(x) = \sigma_0^2 \left\{ \exp \left[-\frac{x^2 + r_1^2}{2\sigma_0^2} \right] - \exp \left[-\frac{x^2 + r_2^2}{2\sigma_0^2} \right] \right\}$$

and

$$(13) \quad B_k(x) = \int_{r_1}^{r_2} \rho^{2k+1} \exp[-(x^2 + \rho^2)/2\sigma_0^2] d\rho = \sigma_0^2 \{ r_1^{2k} \exp[-(x^2 + r_1^2)/2\sigma_0^2] - r_2^{2k} \exp[-(x^2 + r_2^2)/2\sigma_0^2] \} + 2k\sigma_0^2 B_{k-1}(x); \quad (k=1, 2, \dots).$$

Differentiating (11) with respect to x two times, we obtain, correspondingly

$$(14) \quad (2\pi)^{-1} g'(x) = B'_0(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2k}{(k!)^2} \left(\frac{1}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] x^{2k-1} B_k(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{(k!)^2} \left(\frac{x}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] B'_k(x);$$

$$(15) \quad (2\pi)^{-1} g''(x) = B''_0(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2k(2k-1)}{(k!)^2} \left(\frac{1}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] x^{2k-2} B_k(x) + 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{2k}{(k!)^2} \left(\frac{1}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] x^{2k-1} B'_k(x) + \sum_{k=1}^{\infty} \left[\frac{1}{(k!)^2} \left(\frac{x}{2\sigma_0^2} \right)^{2k} \right] B''_k(x).$$

In the above expressions the coefficients $B'_0(x)$, $B''_0(x)$, $B'_k(x)$ and $B''_k(x)$ may easily be computed analytically from (12) and (13) by differentiating them one or two times. For brevity, we shall not write in an explicit manner these derivatives.

Having the estimations (11), (14) and (15), we are able to estimate also the ratios $g''(x)/g'(x)$ and $g'(x)/g(x)$. According to (5), the out-of-focus power $n(x)$ is evaluated through the infinite series which may be truncated at some value of the summation index k .

Numerical evaluation of the intensity distribution

With a view to evaluate the intensity distribution $g(x)$ and power $n(x)$ of the out-of-focus point sources, we have performed numerical evaluations of the series entering into the expressions (11), (14) and (15) for different meanings of the argument x/σ_0 (i. e., all linear parameters in the plane (x, y) are measured in units of $\sigma_0=1$). It is sufficient to truncate the infinite series at $k=6$. Disregarding of the terms with $k \geq 7$ leads to noticeable errors only in the case of very strong out-of-focus distortions if $x/\sigma_0 \geq 3,4 \div 3,6$. The degree of the out-of-focus distortions of the images may be characterized by the inner radius r_1 instead of the distance Δf between the planes (x_0, y_0) and (x, y) . We have considered three cases of distortions, which we shall for convenience denote as "slight", "moderate" and "strong":

- (i) "slight" out-of-focus distortions: $r_1/\sigma_0=0,50$;
- (ii) "moderate" out-of-focus distortions: $r_1/\sigma_0=0,86$;
- (iii) "strong" out-of-focus distortions: $r_1/\sigma_0=1,00$.

In this case a decrease of the intensity in the central region (relative to the intensity for little larger radii) is observed. This reduction is caused by

the central screening of the input aperture ($r'_1 > 0$). Obviously, in the case (iii) the approximation (4) is not more valid when we try to describe the total (global) intensity distribution $g(x)$. But we still may try to use the analytical expression (5) in order to evaluate the power $n(x)$, describing the slope of the function $g(x)$.

Of course, if $r_1 = 0$, the out-of-focus distortions absent. Here we remember that the screening parameter $E = r'_1/r'_2$ has a constant value. For a concreteness, we have adopted $E = 0,43$. Undoubtedly, if we use other values of E , the results will qualitatively be the same. Since the parameter $S_0(\sigma_0)$ is not specified in this paper, the intensities $g(x)$ are measured in arbitrary units. We have normalized the out-of-focus intensities in such a way, that the maximal values of $(1/2\pi)g(x)$ are equal to 100% (Fig. 1). In this figure the $e^{-1} = 36,8\%$ intensity level is indicated by a straight horizontal line. The numbers above the arrows designate the radii of the smoothed out-of-focus point source images. It is evident that the intensity drop in the center of the image ($x=0$) for "strong" out-of-focus distortions appears when the size of the image is enlarged about two times in comparison with the precise focused image ($r_1/\sigma_0 = 0$). Of course, such a large increasing of the sizes of the images cannot remain unnoticed by the observer even if the images are visually focused.

The out-of-focus values of the power $n(x)$, computed according to (5), are presented in Fig. 2. For a "slight" distortions $n(x)$ is close to unity (because the adopted initial distribution $g_c(x)$ is a Gaussian one) and only when the intensity $g(x)$ considerably drops to a low level, $n(x)$ monotonically increases by ~ 10 per cent. This behaviour of the power $n(x)$ may be considered as a typical for enlargements of the images $\Delta\sigma$ which do not exceed $\sim (1/4)\sigma_0$. In the case of "moderate" distortions $n(x)$ strongly deviates from the initial power $n_0 = 1$, but in this situation the increasing of the image radius is also large ($\Delta\sigma \sim (0,7 \div 0,8)\sigma_0$) and cannot remain unnoticed. For "strong" out-of-focus distortions our description of the intensity distribution $g(x)$ by the approximation (4) obviously fails. The power $n(x)$, evaluated by means of (5), is not a continuous function of its argument x and decomposes into separate branches with very different (varying) values of $n(x)$ (Fig. 2). As mentioned above,

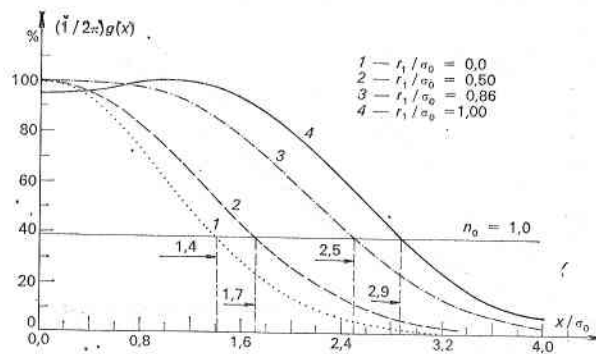


Fig. 1. Out-of-focus intensity distribution $(1/2\pi)g(x)$ for the Gaussian case of precise focused images. The maximal values are normalized to 100% and the numbers above the arrows indicate the size of the images at 36,8% level
 1 — exact focused image; 2 — "slight"; 3 — "moderate"; 4 — "strong" out-of-focus distorted images

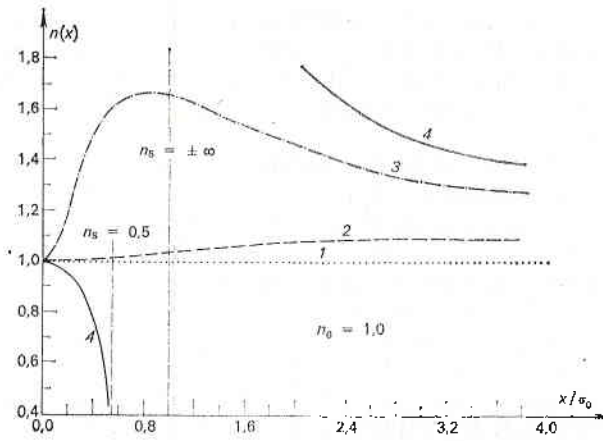


Fig. 2. Out-of-focus power $n(x)$ for the Gaussian case of precise focused images. Vertical thin dashed lines indicate values of x where $n_s=0,5$ and $n_s=\pm\infty$, respectively (the letter "s" denotes "strong" distortions). The other notations are the same as in Fig. 1

this case may be excluded as an extraordinary situation of out-of-focus images and, consequently, there is not reason to reject the approximations (4) and (5) at all.

In practice, nearly constant values of the power $n(x)$ may be determined from the slope of the function $S(x)$ (if $g(x)$, $g'(x)$ and $g''(x)$ are already known from observations)

$$(16) \quad S(x) = \left[\frac{g''(x)}{g'(x)} - \frac{g'(x)}{g(x)} \right]^{-1} = \frac{1}{2n(x)-1} x,$$

for $n(x) \approx \text{constant}$ (locally). From Fig. 3 it is evident that if the out-of-focus distortions are not very large, the mean value of the power $n(x)$ may be determined effectively by means of a linear approximation of $S(x)$ (i. e., $S(x)$ is a suitable tool for measurement of these distortions from the experimental

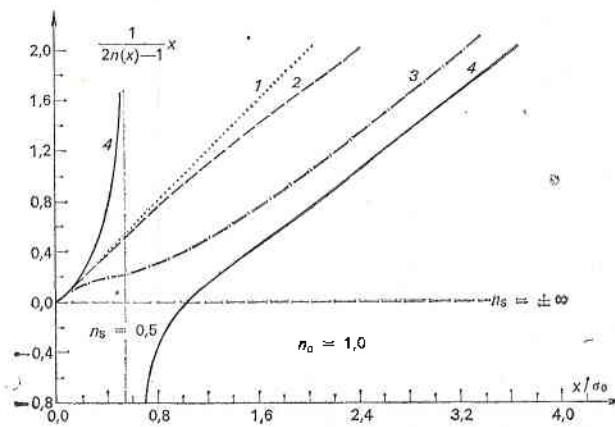


Fig. 3. Function $S(x)=[2n(x)-1]^{-1}x$ for the Gaussian case of precise focused images. Notations are the same as in Fig. 2

data). Excluding the "strong" out-of-focus distortions, we conclude that in the case of a Gaussian point-spread function of the turbulent medium, the values of the power $n(x)$ are always increased with an amount which is very sensitive to the distance between the focal plane (x_0, y_0) and the plane (x, y) , where the intensity $g(x, y)$ is measured.

Conclusions

We have derived analytical expressions describing the out-of-focus intensity distribution arising from a point source observed through a turbulent medium. An optical system with central screening of the input aperture is considered. All computations use the geometrical optics approach. If out-of-focus distortions are not too large, it is possible to approximate this intensity distribution by a quasi-Gaussian curve with a power $n(r)$ depending on the distance r from the center of the image. If such images are scanned, for example, by an infinitely long slit diaphragm with a finite width, the measured intensity distribution will be additionally enlarged, but this smearing out is about $(1 \div 2)$ per cent [4]. As can be seen from Fig. 1, the enlargement of the image sizes due to the out-of-focus distortions may be much more pronounced than the enlargement due to the scanning. Consequently, measuring the behaviour of the power $n(r)$ may give a valuable information about the degree of the out-of-focus distortions of the observed objects. For example, in the case of astronomical observations by ground-based telescopes, it is sufficient to investigate turbulent star images (as point sources). It may be shown [1, 5] that for precisely focused turbulent star images the power n_0 is less than unity (despite of that is not a constant). If the measured intensity distribution $g(r)$ can be approximated by a quasi-Gaussian curve (4) with a power $n(r)$ exceeding appreciably unity, this may be an indication that the images are not precisely focused. Such a method for evaluation of the out-of-focus effect is possible to be combined with the usual procedure of minimizing the sizes of the point source images.

Aknowledgements. The autor thanks Drs. Yu. V. Alexandrov and V. N. Dudinov from the K'harkov State University (Ukraine) for helpful discussions and comments on the manuscript.

References

1. D i m i t r o v, D. V. Investigation of the photoelectric profiles deviations of the stellar images from the Gaussian distribution. — Vestnik K'harkov univ., ser. 15, 1980, No 204, p. 44.
2. J a h n k e, E., F. E m d e, F. L ö s c h. Special functions. Formulas, graphs and tables. M., Nauka, 1977, p. 176.
3. A b r a m o w i t z, M., A. S t e g u n. Handbook of mathematical functions with formulas, graphs and mathematical tables. M., Nauka, 1979, p. 177.
4. D i m i t r o v, D. V. Scanning of stellar images by a slit diaphragm and estimation of their parameters. I. Approximation of turbulent disks by a Gaussian distribution. — Astrophysical investigations, 7 (in print).
5. D i m i t r o v, D. V. Two-parametric intensity distribution in the turbulent stellar disks. — Vestnik K'harkov univ., ser. 15, 1980, No 204, p. 40.

Received 2. XI. 1992

Апроксимация на извънфокалното
разпределение на осветеността
при изображения, имащи гаусова функция
на импулсия отклик

Димитър Димитров

(Резюме)

Прието е функцията на импулсия отклик при наблюдения през турбулентна среда да бъде гаусова крива $g_0(r) \sim \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma_0^2}\right)$. Ако измерванията на интензивността не са извършени във фокалната равнина на телескопа, то изопаченото разпределение на осветеността $g(r)$ може да бъде апроксимирано с квазигаусова крива $g(r) \sim \exp(-r^{2n}/B)$, където степенният показател n зависи от r . Показано е, че това приближение е подходящо описание на $g(r)$, ако извънфокалните изопачавания не са много големи. Извършени са детайлни аналитични и числени изчисления с оглед да се оцени $n(r)$ и неговото отличие от единица. Всички оценки са извършени в приближението на геометричната оптика.

Оптимизационен анализ на технико-експлоатационните характеристики на пенетраторен акселерометър за сеизмологични изследвания на планетата Марс

*Гаро Мардиросян, Дора Неделчева,
Томас Здравев**

*Институт за космически изследвания, БАН
* Лаборатория по слънчево-земни въздействия, БАН*

Както и при всички подобни изследвания, и тук експлоатационните възможности и характеристики на използваната апаратура определят в крайна сметка качеството на получените резултати и ефективното изпълнение на научната програма.

Предложените научни задачи за изследване на повърхността и вътрешния строеж на планетата Марс чрез пенетраторен акселерометър [1] могат да се формулират най-общо така:

1. Възстановяване на скоростта, геометричните и времевите параметри на траекторията при удара на пенетратора в грунта и проникването му в него. Получените данни позволяват определяне на профила на основните физико-механични параметри на марсианския грунт в дълбочина. Очаква се и решаване на чисто технически и технологични проблеми, свързани с усъвършенстване конструкцията на пенетратора и методиката на използването му.

2. Регистрация на вторичното сеизмично поле в близката зона, свързано с механичните нарушения в средата и релаксацията на топлинната аномалия. Получените данни служат за изучаване свойствата на средата.

3. Регистрация на микросеизми от естествен произход, както и на изкуствено създадени. Въз основа на получените данни се определят честотно-времените характеристики на средата като част от общата характеристика на повърхностния марсиански слой.

4. Регистрация на евентуални близки марсотресения вследствие на вътрешнопланетни причини и тектонски сили или от падане на по-големи метеорити, а също и от изкуствени източници на сеизмични вълни. Получените сведения служат за изучаване динамиката на планетата, за уточ-

няване границата между кората и мантията, за изясняване геоложката история на Марс и т. н.

Последната формулирана задача съвсем не е последна по значимост. Но за съжаление, имайки предвид повтаряемостта на марсианските макро-сейзични събития, както и продължителността на „живота“ на пенетратора, вероятността от регистрация на естествени марсотресения е почти нулева. Остава обаче възможността от създаване на изкуствени марсотресения.

Естествено формулирането на тези научни задачи беше тясно обвързано с основните технико-експлоатационни характеристики и възможности, очертани от предварителната разработка на пенетраторния акселерометър [2]. От друга страна, оптимизирането на тези характеристики и параметри в процеса на по-нататъшната разработка гарантира качествено изпълнение на научната програма, както дава възможност и за допълването ѝ с цел получаване и на друга научна и технологична информация.

В [3] е описан подход за оптимизиране на експлоатационните характеристики на пенетраторния акселерометър. В същата работа са представени и получените първи ориентировъчни резултати за някои от основните експлоатационни характеристики на самия пенетратор: пътят H , който ще измине проникващата му част, дълбочината \dot{H} , до която ще достигне, и времето t за проникването. Това е направено въз основа на най-вероятните физико-механични свойства на грунта и някои конструктивни параметри на пенетратора.

Сега стойностите за H , \dot{H} и t са прецизирани, като при моделирането са взети повече на брой и с по-представителен диапазон параметри на марсианския грунт, при това не само за реголит. Това са преди всичко коефициентът на триене μ , обемното тегло ρ_0 , ъгълът на вътрешно триене θ и кохезията c . Някои фактори, за които нямаме представителни данни и чието влияние е слабо, са пренебрегнати.

За база на оптимизационния анализ са взети основните уравнения от теорията за проникване на твърдо тяло (в случая конусообразно с ъгъл при върха $\beta=60^\circ$) в грунта [4]. Уравнението, описващо силата на реакцията по нормалата F и по тангентата Q по дадено сечение от проникващата част, е

$$(1) \quad F+Q=(1+\mu_0 \cot \beta) \int_0^H 2 \pi \operatorname{tg}^2 \beta (\rho-p_a) x dx,$$

а уравнението за движението на пенетратора с маса m е

$$(2) \quad m \ddot{H} = -(F+Q).$$

Съвместното решение на (1) и (2) дава линейното уравнение

$$(3) \quad y' + \varphi_1(H)y = \varphi_2(H).$$

При вече приети геометрия и конструкция на пенетратора коефициентите $\varphi_1(H)$ и $\varphi_2(H)$ зависят главно от параметрите на марсианския грунт и от статистичен коефициент b , получен от полинома, изразяващ апроксимационната формула на динамичната крива на свиване на грунта

$$(4) \quad p_* = 5,5 \cdot 10^4 (1-b)^4 + 4,7 \cdot 10^2 (1-b) + 3,$$

където p_* е налягането на съответния етап на проникване. В началния момент $p_* = p_a + \rho_0 v_0^2 \operatorname{tg}^2 \beta$, а в следващите е $p_* = p_a + \rho_0 \dot{H} \operatorname{tg}^2 \beta$. Решавайки постъпково чрез числен метод (4), определяме b , докато скоростта на проникване \dot{H} стане нула.

Този модел ни дава възможност, варирайки с най-вероятните комбинации между минималните, средните и максималните стойности на физико-механичните параметри на марсианския грунт [5], да определим проникването H , времето t за проникване и ударното съпротивление \dot{H} . Тук е взето предвид, че при малки отклонения спрямо нормалата в точката на падане ($\alpha < \pm 20^\circ$) и при сравнително малки \dot{H} разликата между дълбочината на проникване \bar{H} и изминатия път H е пренебрежимо малка: $\bar{H} \approx H$.

В табл. 1 са дадени минималните, максималните и приетите средни стойности на физико-механичните параметри на марсианския грунт, използвани при изчисленията.

При моделирането на процеса особено голямо значение има скоростта на падане на пенетратора върху грунта, т. е. началната скорост на проникване v_0 . На фиг. 1 е показана зависимостта $H=f(v_0)$ при приети средни стойности за μ , ρ_0 , θ и c и за три различни стойности на v_0 .

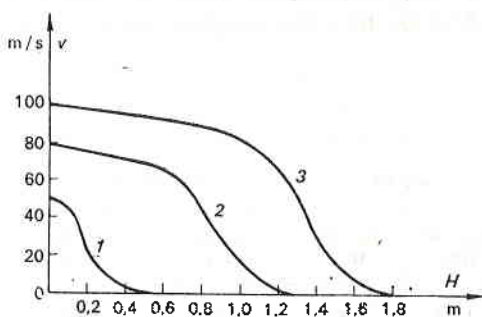
Зависимостта на времето на проникване t от началната скорост v_0 при три различни гранични комбинации от стойности на μ , ρ_0 , θ и c е показана на фиг. 2.

Ударното съпротивление, което ще понесе пенетраторът, съответно и апаратурата, монтирана в него, $\dot{H}=f(H)$ за трите гранични комбинации от стойности на μ , ρ_0 , θ и c и при $v_0=80$ m/s, е показано на фиг. 3.

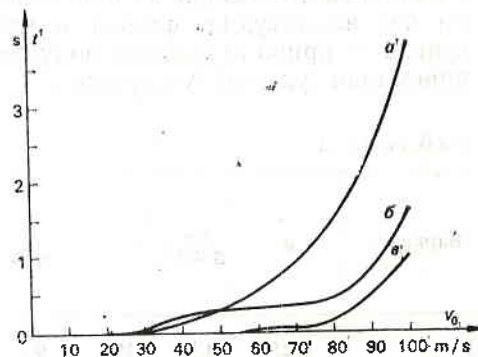
Очевидно е, че обект на анализа са технико-експлоатационни параметри, които са взаимно противоречиви. От една страна, проникването на по-голяма дълбочина H на пенетратора изисква по-голяма начална скорост на проникване v_0 . Но тази по-голяма скорост обуславя по-голямо ударно

Таблица 1

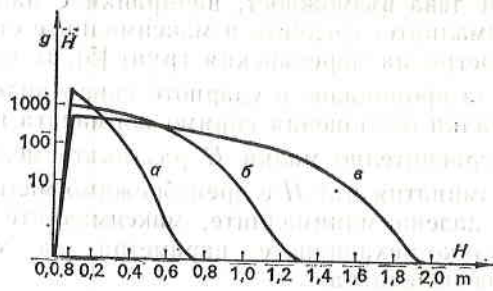
Параметър	Максимална стойност	Минимална стойност	Приета средна стойност
Коефициент на триене μ	0,25	0,05	0,12
Плътност ρ_0 , g/cm ³	1,8	1,0	1,5
Ъгъл на вътрешно триене θ , °	35	10	25
Кохезия c , кРа	5	0,5	1,9



Фиг. 1. Графики на зависимостта $H=f(v_0)$ при различни стойности на v_0
1 — 50 m/s; 2 — 80 m/s; 3 — 100 m/s



Фиг. 2. Графики на зависимостта $t=f(v_0)$ при различни комбинации от гранични и средни стойности на μ , ρ_0 , θ и c
a — минимални; b — средни; e — максимални



Фиг. 3. Графики на зависимостта $\ddot{H}=f(H)$ при различни комбинации от гранични и средни стойности на μ , ρ_0 , θ и c
a — максимални; *b* — средни; *c* — минимални
 (ускорението е в относителни единици — *g*)

ускорение \ddot{H} , което пък се ограничава от удароустойчивостта на апаратурата. От друга страна обаче, по-силният удар ще предизвика генериране на сеизмични вълни с по-голям амплитуден диапазон, което ще даде възможност за по-ефективна амплитудна и честотна регистрация на отразените вълни. По-голямото време за проникване t пък гарантира регистрации с по-голяма разделителна способност по време на процеса на проникване.

От графиката на фиг. 1 (крива 2) се вижда, че при пристигане средни стойности на физико-механичните характеристики на марсианския грунт и $v_0=80$ m/s проникването е от порядъка на $H=1,2$ m. Това е достатъчно за цялостното потъване на пенетратора в грунта. При $v_0=50$ m/s (крива 1) дълбочината също на практика е достатъчна, но само при средни стойности на μ , ρ_0 , θ и c , докато при стойности над средните H е недостатъчна. От табл. 2 се вижда, че за по-малки v_0 , например $v_0=30$ m/s, в повечето случаи пенетраторът не би се забил достатъчно надълбоко, а най-вероятно е изобщо да не се забие. В такъв случай, от една страна, той остава под влияние на смущаващото действие на вятъра и носените от него частици, а от друга — не гарантира добър механичен контакт с грунта. А добрият механичен контакт с грунта на сеизмоприемника, в случая на пенетратора, е най-важното условие за приемането и регистрацията на сеизмичните вълни без амплитудни, фазови и честотни изкривявания. При $v_0=100$ m/s (фиг. 1 — крива 3) също се получава добра H , но тази скорост води до неприемливи ударни ускорения.

Таблица 2

Вариант	μ	ρ_0 , g/cm ³	θ , °	c , kPa	H , m		\ddot{H} , m/s ²	
					$v_0=30$ m/s	$v_0=80$ m/s	$v_0=30$ m/s	$v_0=80$ m/s
I	0,25	1,8	10	0,5	1,07	1,58	$2,7 \cdot 10^5$	$1,1 \cdot 10^6$
II	0,05	1,0	35	5,0	0,55	0,88	$3,9 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^6$
III	0,05	1,0	10	5,0	0,35	1,36	$6,1 \cdot 10^5$	$7,0 \cdot 10^6$
IV	0,05	1,0	35	0,5	0,39	0,47	$7,2 \cdot 10^5$	$2,6 \cdot 10^6$
V	0,05	1,0	22	2,0	0,59	1,1	$3,9 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$
VI	0,12	1,5	25	1,9	0,35	1,0	$8,3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^6$

Температурата на околната среда е много важен параметър, от който зависи правилното функциониране на апаратурата и особено на пиезоелектричния преобразувател на акселерометъра. Поради много малката топлопроводимост на повърхностния слой на Марс ($1,6 \cdot 10^{-4}$ cal/grad. cm. s) достигащото до 40°C денонощно изменение на температурата влияе само на най-горния 4–5-сантиметров слой, а сезонното изменение — на не повече от 1 м. Следователно забит и работещ на $H > 0,4 \div 0,6$ м, пенетраторът няма да бъде изложен на денонощните температурни разлики. Също така няма да бъде изложен и на сезонните температурни изменения, тъй като продължителността на „живота“ му е значително по-малка от продължителността на един марсиански сезон [6].

Времето за проникване t зависи сравнително силно от грунтовете условия. Докато отношението между съответните дълбочини H_{min} и H_{max} за двата гранични случая на грунтови условия е $H_{\text{max}}/H_{\text{min}} \approx 2,5$, то за t то е $t_{\text{max}}/t_{\text{min}} \approx 4$. Но едно средно време от порядъка $t = 1 \div 2$ s би дало възможност за регистрация с една добра разделителна способност по време.

Най-противоречив и най-деликатен е въпросът с ударното ускорение \dot{H} . От фиг. 3 и табл. 2 се вижда силната зависимост и на \dot{H} от грунтовете условия. Вижда се още, че при максимални стойности на μ , ρ_0 , θ и c най-неблагоприятната за случая освен недопустимото ускорение на границата на неприемливостта е дълбочината на проникване H . Разбира се, такава най-неблагоприятна комбинация, от всички грунтови параметри е малко вероятна. Тя се намалява още повече при увеличаване броя на пенетраторите на 2 или 3.

Основният извод, както и трябваше да се очаква, е, че освен очевидно силното влияние на началната скорост на проникване много голямо значение имат и физико-механичните характеристики на марсианския грунт върху основните експлоатационни характеристики на пенетраторния акселерометър. Именно непознаването на по-конкретни стойности на тези характеристики на грунта в мястото на пенетрация ограничава по-детайлното и по-прецизно моделиране на процеса. Ограничения идват и от все още неокончателните стойности на габаритно-масовите характеристики и от параметрите на орбитата на изкуствен спътник на Марс, от която ще бъде спуснат пенетраторът.

В заключение смятаме, че една начална скорост на проникване от порядъка на $v_0 = 60$ m/s, обуславяща дълбочина на проникване от порядъка на $H = 0,7$ м, време за това проникване от порядъка $t = 0,8 \div 2,5$ s и ударно ускорение от порядъка 900 g, е приемлива база за по-нататъшното продължаване на разработката.

Литература

1. Материали Международного совещания по проекту „Марс-94“. М., ИКИ АН СССР, февраль 1989.
2. Мардиросян, Г., В. Фрейд. Трехкомпонентный пенетраторный акселерометр для исследования Марса. — Аэрокосмически изследвания в България, 8, 1990, с. 39.
3. Marghossian, G., D. Kolagov, V. Fremd, A. Gvozdev, L. Hudzinski. The Performance of a Penetrator Accelerometer for Mars Exploration — Approach and Initial Results. — In: XVIII Plenary Meeting — COSPAR, Hague, 1990.
4. Сагамонян, А. Проникание. М., Моск. университет, 1974.
5. Цытович, Н. Механика грунтов. М., Стройиздат, 1966.

6. М а р д и р о с я н, Г., Д. К о л а р о в, Д. И н д ж е в а, Д. Н е д е л ч е в а.
Сравнителен анализ на експлоатационните възможности на апаратурен комплекс
за изследване вътрешния строеж на планетата Марс с използване на марсо-
ход и пентратор. — Докл. Втора национална конференция „Аерокосмос и
екология“. Шумен, 1990.

Постъпила на 24. IX. 1991 г.

Optimization technical and operation analysis of a penetrator accelerometer for seismological exploration of the planet Mars

*Garo Mardirossian, Dora Nedelcheva, Tomas
Zdravev*

(S u m m a r y)

In some previous works of the authors the technical characteristics of a penetrating accelerometer obtained in the initial development phase have already been presented. Basic modes and operation algorithms of the penetrating accelerometer have also been proposed. However, a more detailed and concrete specification of the accelerometer operation characteristics calls for further study of the penetrator technical and operation characteristics.

In this work, the basic scientific problems of the Martian surface and inner structure exploration using a penetrating accelerometer are specified. Following the objectives of the proposed scientific program an optimization analysis has been conducted for determination of the accelerometer technical and operation characteristics, namely: sensitivity coefficient of the receiver-transducer unit; parameters of the electronic unit; modes, algorithms, etc. The results are based on the most important penetrator characteristics obtained by theoretical methods, such as: shock acceleration at contact with the Martian ground, depth of penetration and penetration period. The modelling is based on the penetrator's most probable values: mass, shock dynamics characteristics and ground physical and mechanical parameters.

Distributed measurement system in space applications

Doyno Petkov

Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences

Computer-based systems with reference to application and problem range may be classified as: digital control systems, information systems, measurement systems, inform ability control systems, automated technology control systems, measurement computer systems. Such systems based on computer science are specified with: common functions such as data on environment and specified object and respective transmit to computer-aided facilities, real time data processing in agreement with users defined software. In brief such systems will be examined further on as distributed measurement systems (DMS).

DMS are designed for relatively restricted class of problems preserving their reliability throughout the duration of real time transmission. The application of DMS for solving determined class of problems, i. e. their specialization may be obtained in several ways: via hardware approach to computer algorithms for cases when computers cannot satisfy requirements such as accuracy, fast performance, cost and reliability, via general purpose computers compatible with specific requirements for computing resources, relevant to given environment, via adequate problem oriented software when using high technology automated software design system.

Problem

The problems resolved by the DMS methods reflect more or less the relevance of its operation. This relevance is justified with the solution of systematic hardware and software problems, subdivided into respective hierarchy dependent subproblems. And vice versa the designer starts from development of elementary problem definition in order to achieve non alternative solution of the respective subproblem [1].

When applying DMS method to analyze physical processes it applies the following two simultaneous approaches: the solution of the basic functional problems and aiming at adequate interpretation of the processes and supplementary — optimizing the pattern of adequate interpretation. Functional

problems may be subdivided into ranks as each of them is specified with different algorithms and solution approaches. The first rank solution is characterized with data acquisition and preliminary signal processing. This comprises analog and digital signal processing, the second rank resolves problems on preliminary data processing, the third refers to signal processing and optimizes data processing in view of finding functional extreme under defined restriction which is already the subject of applied mathematics and the fourth level solution applies problems on data presentation relevant to the operator, i. e. the possibility of taking complete control on processes [2].

The secondary problems are hierarchically independent, they are not subject to informational ranking, and are subdivided into three groups: expanding the operational capacity of the host computer efficiency and high reliability in diagnostics of all DMS components; and full advantage usage of the computer facilities [3].

The DMS design process is a multicriterion interactive process. It may be represented as a combination of two design stages: external (systematic) and internal (technological). Based on user requirements we define at the external stage the exploration, economic and technical parameters, i. e. we define the concept of the system. The second (internal) stage includes the solution of engineering problems related with determined standards. Out of convenience we shall divide the requirements to the different DMS elements into three groups: requirements sensor elements, to computer control units and to the subject of analysis. Usually the design is made with a priori defined parameters and characteristics of sensors and analyzed subject. In this case it is necessary to define the systematic requirements of the control unit most important of them being reliability and cost.

This paper shall examine as well the problem of compatibility between the form of the informational presentation from sensor to subject. In this case the control unit will become computer channel processing the compatible form. This channel will be defined as combination of technical means by which the sensor signals will be received, processed and transmitted to control unit or analyzed subject. In the generalized case this channel represents multipole is shown in Fig. 1.

The expression for the operator is:

$$(1) \quad S_C(t) = [S_S(t), S_N(t)] P_N P_C,$$

where $S_S(t)$ — signal source; $S_N(t)$ — noise source; $S_C(t)$ — signal obtained with the channel; P_N — noise operator; P_C — channel operator.

Various modes of multipole combinations allow for obtaining of various channel structures for data processing is shown in Fig. 2.

The operation of the information signal transmission has the form of:

$$(2) \quad S_C(t) = \{ [S_{S1}(t) S_{N1}(t)] P_{N1} P_{C1} P_{M1} ; [S_{S2}(t) S_{N2}(t)] P_{N2} P_{C2} P_{M2} \} P_{mux} P_T,$$

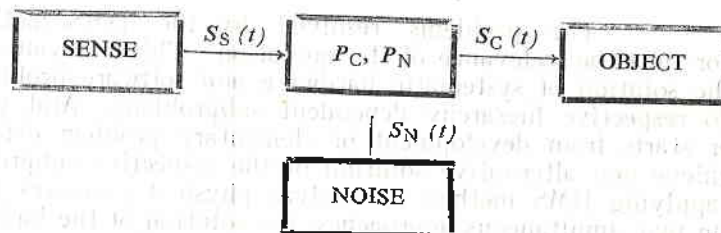


Fig. 1. The functional scheme of the study measurement system

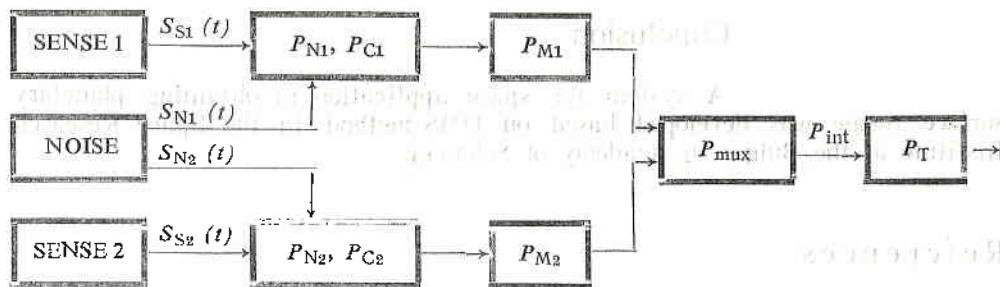


Fig. 2. Two channel structure for data processing

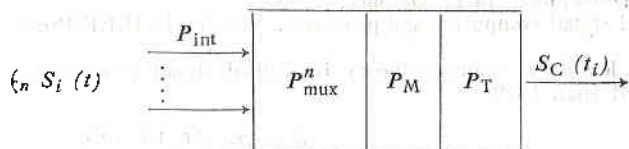


Fig. 3. The measurement system with centralized data processing

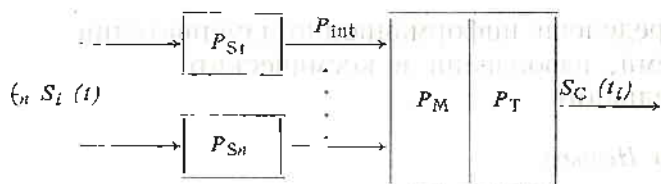


Fig. 4. The measurement system with decentralized data processing

where P_M — modifying operator; P_{mux} — multiplexing operator; P_{int} — interface operator; P_T — transmission operator.

These structures have important specifics - they assume alternative analog-to-digital conversion and allow for alternation from controlling to controlled function in dependence on the specific requirements. Therefore, we shall examine the possible classification under the following structural signatures: centralized and decentralized signal processing, un-level and multi-level commutation of channel configuration. The structural scheme corresponding to centralized data processing is shown in Fig. 3.

The operation of the informational signal transmission has the form of:

$$(3) \quad S_C(t_i) = \epsilon_n [S_i(t) P_{int}] P_{mux}^n P_M P_T,$$

where ϵ_n shows that there is a subset of n independent signal sources or operators; P_{mux}^n — operator corresponding to a given channel in discrete time interval. Since the system is reversible and may be written for the output informational flow:

$$(4) \quad \epsilon_n S_i(t) = S_C(t_i) P_T P_{mux}^n \epsilon P_{int}.$$

The case of decentralized or distributed data processing is shown in Fig. 4.

This analysis of the structures did not treat the problems of commutation control and processing algorithms, etc. In fact, various structures exist which may be reduced to the above mentioned ones [4].

Conclusion

A system for space application in obtaining planetary surface image was developed based on DMS method in the Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences.

References

1. Wunsch, G., H. Schreiber. System analyze. Berlin, VEB Verlag Technik, 1972.
2. Iscrmen n, R. et al. Digital computer application to process control. — In: 6th IFAC/IFIP Conference, Düsseldorf, 14-17 October, 1980.
3. Salazar, A. C. et al. Digital signal computers and processes. New York, IEEE Press Inc., 1977.
4. McClellan, J. H., C. M. Róder. Number theory in digital signal processing. New Jersey, Prentice Hall Inc., 1979.

Received 14. VI. 1990

Разпределени информационно-измервателни системи, използвани в космическите изследвания

Дойно Петков

(Резюме)

Разпределените информационно-измервателни системи са предназначени за относително тесен клас задачи в космическите изследвания, характеризиращи се с постоянство в течение на жизнения цикъл на бордовите системи. Структурирането на тези разпределени в работното пространство измервателни системи към решаването на даден клас задачи, т. е. специализацията, е постигнато в работата по различни начини: чрез апаратурна реализация на изчислителните алгоритми в случаите, когато стандартизираните компютри не отговарят по характеристики на поставените цели; чрез използване на стандартни управляващи компютри и създаване на специализирани подсистеми за обмен на данни, максимално приближаващи се до изискванията на работната среда; чрез разработване на математическо и програмно осигуряване за управляващите компютри с различна проблемна ориентация при използването на високоавтоматизирани технически и програмни средства за генериране на програмни продукти.

Моделна оценка на ултравиолетов озонометричен спътников експеримент

Доротея Иванови

Институт за космически изследвания, БАН

Моделната оценка и въпросът за оптимално планиране на спътниковите озонометрични експерименти са тясно свързани с повишаване информативността на озонометричните изследвания. При планиране на такива експерименти е необходимо от обективните данни да бъде извлечена максимално полезна информация. Опитът показва, че само усъвършенстването на методите на обработка няма да гарантира надеждна интерпретация на експерименталните данни при положение, че те не съдържат достатъчно информация за обекта на изследване. Необходимо е усъвършенствано физично и математично моделиране на експериментите за определяне на озонния профил, приложимо за спътникови измервания.

За озонометрични изследвания в областта $0,250-0,340 \mu\text{m}$ на ивиците на поглъщане на озона е необходимо да се отчете следното съображение: за вълни с по-къси дължини ($\lambda < 0,292 \mu\text{m}$) слънчевото излъчване се разсейва в слоевете на атмосферата, разположени над максимума на озонната концентрация, и не прониква през озонния слой. В този случай еднократно разсеяното излъчване към спътника, т. е. в надир, за зенитен ъгъл на Слънцето θ_0 и дължина на вълната λ се записва с израза [4]

$$(1) \quad \varphi(\lambda, \theta_0) = F_0(\lambda) \left(\frac{3}{16} \pi \right) (1 + \cos^2 \theta_0) \\ \times \int_0^{z_0} \beta_\lambda(z) \exp \left\{ -(1 + \sec \theta_0) (k_\lambda U(z) + \int_z^{z_0} \beta_\lambda(z') dz') \right\} dz,$$

където $F_0(\lambda)$ е вълнен за атмосферата поток на Слънцето; $\beta_\lambda(z)$ — коефициент на релеевско разсейване; $U(z)$ — количество озон в атмосферен стълб на височина z ; z' — височина на атмосферен стълб, една стъпка над z ; k_λ — коефициент на поглъщане на озона.

За вълни с такава дължина, при която излъчването прониква през озонния слой ($\lambda < 0,292 \mu\text{m}$), смятаме, че е необходимо да се отчетат многократното аерозолно разсейване и отражението от подложната повърхност.

Очевидно задачата твърде много се усложнява от отчитане на процесите на многократно разсейване и се внася твърде голяма неопределеност от необходимостта да се отчитат аерозолното състояние на атмосферата и албедото на подложната повърхност. Във връзка с тези съществени недостатъци на ултравиолетовия метод е възможно да се възстанови озонният профил с добра точност само за височини $z \geq 30$ km.

При решаване на проблема за математичното моделиране за височини над 25–30 km първо извършихме оценка на границите на приближението, описано с уравнение (1), за различни стойности на zenитния ъгъл на Слънцето θ_0 . За целта бяха необходими моделни оценки на редица процеси — многократно разсейване и отражение на подложната повърхност.

Като използваме оценките на влиянието [5] на посочените фактори, можем да направим следните изводи:

1. За произволна геометрия на релаваната задача многократните разсейвания за $\lambda \leq 0,3$ μm не превинават 1%;

2. В интервала 0,30–0,31 μm е необходимо да се отчита вторичното разсейване. Отчитането му може да става с помощта на приблизителна методика, предложена и обоснована в [5].

В [5] влиянието на аерозолното разсейване е оценено по остарял модел, изискващ актуализиране.

Количествени оценки на влиянието на подложната повърхност също не са предвидени.

Във връзка с това разглеждаме специалните оценки на влиянието на аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност за дълговълнови ултравиолетови измервания в четири канала: $\lambda_1 = 0,300$ μm ; $\lambda_2 = 0,302$ μm ; $\lambda_3 = 0,305$ μm ; $\lambda_4 = 0,310$ μm , стриктно и детайлно разработени от авторите [1–3]. След синтезиране на данните за три положения на Слънцето ($\theta = 15^\circ, 45^\circ, 75^\circ$) в табл. 1 са дадени грешките (в проценти), свързани с неотчитането на аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност за три различни стойности на албедото a .

От резултатите в табл. 1 следва, че най-голяма грешка внасят неотчитането на аерозолите и отражението на подложната повърхност. Тази грешка се наблюдава при най-дълговълновия от всички разглеждани канали λ_4 при големи височини на Слънцето ($\theta = 15^\circ$). При това влиянието на аерозолите и на подложната повърхност до голяма степен се компенсират взаимно. Вижда се, че при силно помътняване на атмосферата влиянието на подложната повърхност даже в дълговълновите канали не се отчита въобще (модел II). За $\theta_0 = 15^\circ$ при $\lambda = 0,300$ μm при големи стойности на албедото на подложната повърхност (модел I, $a = 1$) грешката достига до 5%. При силно помътняла атмосфера (модел III, при произволно a) грешката също е около 5%.

Следователно при дистанционни озонметрични експерименти при $\theta_0 = 15^\circ$ е желателно да се използват вълни с $\lambda \leq 0,300$ μm .

За $\theta_0 = 45^\circ$ тази граница се вдига до 0,302 μm .

За zenитните ъгли на Слънцето с големи стойности ($\theta = 75^\circ$) за дистанционни измервания могат практически да се използват (както се вижда от табл. 1) всички разглеждани канали за измерване, без да се отчитат своствата на аерозолите и подложната повърхност.

Въз основа на проведената моделна оценка и обективните озонметрични данни [5] определяме условията за пресмятане в разглежданата ултравиолетова област на спектъра:

1. В интервала 0,260–0,300 μm се отчита само еднократното разсейване;

Таблица 1

Радиационен модел*	Алbedo	$\theta_0 = 15^\circ$				$\theta_0 = 45^\circ$				$\theta_0 = 75^\circ$			
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
I	$a=0$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	$a=0,1$	0,51	1,1	4,3	7,8	0,18	0,42	2,4	5,4	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$8 \cdot 10^{-2}$	0,50
	$a=1$	5,2	12	48	88	1,9	4,3	26	53	$2 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	0,77	5,0
II	$a=0$	0,91	1,6	5,4	8,6	0,18	0,51	0,51	7,1	0,62	0,65	0,70	0,89
	$a=0,1$	0,91	1,6	5,1	8,0	0,18	0,51	0,51	6,9	0,62	0,65	0,70	0,89
	$a=1$	0,39	0,73	1,9	2,1	0,12	0,33	0,33	4,7	0,62	0,65	0,70	0,89
III	$a=0$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6
	$a=0,1$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6
	$a=1$	4,9	10	31	45	1,7	3,8	3,8	39	0,67	0,88	1,1	3,6

* Радиационни модели: I — атмосфера без аерозоли; II — силно замърсена атмосфера, непрозрачна с приземна видимост $D=5$ km (модел 1987 [6]) и с оптическа плътност на аерозолите при $\lambda=0,300$ μm , равна на 1,6; III — силно непрозрачна атмосфера с аерозолно разпределение както при II, но с конфигурирани слоеве: тропосферен ($z_{\text{max}}=2$ km, $N_{\text{max}}=10$ NM), стратосферен ($z_{\text{max}}=20$ km, $N_{\text{max}}=10$ NM), където NM е концентрацията на аерозоли по модел [6] в съответното ниво. Оптическата плътност на аерозолите е 4,2 при ниво $\lambda=0,300$ μm .

2. В интервала 0,300—0,310 μm приблизително се отчита вторичното разсейване;

3. В зависимост от стойността на зенитния слънчев ъгъл измерванията да се извършват в този спектрален диапазон, в който могат да бъдат пренебрегнати аерозолното разсейване и отражението на подложната повърхност.

Необходимо е при следващи изследвания моделната оценка да се извърши в по-широк диапазон — от 0,100 до 0,400 μm , за осигуряване на нов тип спътникови озонотрични експерименти, залегнали в Световната програма за изследване на атмосферния озон.

Литература

1. Бирюлина, М. С. Моделирование априорного ансамбля решений обратной задачи и устойчивость оптимального спутникового эксперимента. — Метеоролог. и гидролог., 1981, № 4.
2. Бирюлина, М. С., Ю. М. Тимофеев. О точности определения озона по данным измерений уходящего теплового излучения на ИСЗ „Метеор-28“. — Тез. докл. III всесоюз. совещ. по атмосферной оптике и актинометрии, Томск, 1983.
3. Бирюлина, М. С., Ю. М. Тимофеев. Учет взаимокорреляционных связей озона и температуры при зондировании атмосферы со спутника. — Тез. докл. III всесоюз. совещ. по атмосферной оптике и актинометрии, Томск, 1983.
4. Mather, C. S. A review of some aspects inferring ozone profiles by inversion of UV-radiation measurements. — Proc. Workshop Amer. Res. Center, NASA, TMX-62, 150, 1972.
5. Aruga, T., T. Igaraishi. Vertical distribution of ozone: a new method of determination using satellite measurements. Trend in total ozone. — Appl. Optics, 15, 1976, No 1.
6. Mc Clatchey, R. A., H. J. Belle. Report of the IAMAR Radiation Commission Working Group on a standard radiation atmosphere. Seattle, Washington, USA, 29. Aug., 1987.

Постъпила на 20. III. 1993 г.

UV-radiation ozone satellite measurements modelling

Dorotea Ivanova

(S u m m a r y)

In the present work matematics of ozone profile inversion has been described.

On the basis of satellite ozone measurements of total ozone content in the atmosphere and vertical ozone distribution, some conclusions, as well as recommendations for the optimization of UV-radiation ozone space research, are drawn. Backscattered UV-earth radiance satellite modelling is given. Using different albedo characteristics a new describing of UV-radiation ozone satellite measurements modelling has been discussed.

Система, осигуряваща развитието на висши растения, функционираща на орбитална станция „Мир“

Таня Иванова

Институт за космически изследвания, БАН

Космическата оранжерия „СВЕТ“, проектирана и изработена в Института за космически изследвания в България, е система, осигуряваща необходимите технически и технологични условия за развитие на растенията в безтегловност. Тя бе монтирана в технологичния модул „Кристал“, който на 10. VI. 1990 г. успешно се стикова към един от страничните възли на орбиталния комплекс „Мир-Квант-Союз“. Първите два месеца работа на борда доказаха ефективността на взетите технически решения — получиха се първите зеленчукови растения, като условията на развитието им бяха следени чрез телеметрична система. Изследванията на върнатите от екипажа биологични образци показаха, че те не се отличават значително от отгледаните при земни условия.

Създаването на биолого-технически проект на космическа оранжерия е изключително сложна научна задача — трябва да се осъществяват измерването и точното регулиране на параметрите на средата, необходими са и специални методи за управление на биологичния процес, свързани с екстремалните условия на космическия полет (преди всичко безтегловността). Освен това трябваше да се осигурят условия за получаването на няколко последователни вегетации. Бе набелязана обширна програма за изработване на апаратура за предварителни научни експерименти и изследвания.

Програма за регулиране на проекта космическа оранжерия „СВЕТ“

1. Създадените две лабораторни установки (ЛУКОС-1/2) функционираха няколко години (1984—1987) в специална клинична камера в България и в тренажор на орбиталния отсек в Русия, за да се експериментира ефективността на различните конструктивни и технологични решения и да се уточни програмата за работа на компютъра в главните образци.

2. С помощта на предварителния експеримент „Субстрат“, проведен на орбитална станция „Салют-7“ от космонавтите Савиних и Джанибеков през лятото на 1985 г., бяха изследвани хидродинамичните свойства на хранителната среда — субстрата „Балканин“, в условия на безтегловност. Резултатите послужиха за подбор на оптимален фракционен състав на субстрата (големина на гранулите) и за изпитания на датчика за измерване на влажността му [3].

3. На разработения в ИКИ, БАН главен образец (ГО-2) бяха проведени ресурсни биолого-технически изпитания в Русия (1988—1989 г.) със и без растения, резултатите от които послужиха за анализ на разпределението на физическите параметри във фитотропната камера, за уточняване на необходимите корекции в програмата за управление на компютърната система [4].

4. На изработените два летателни образца (ЛО-1, 2) оранжерия „СВЕТ“ бяха проведени всички приемно-предавателни изпитания в България и Русия, като единият от тях бе изстрелян в състава на комплекса апаратура, монтирана на борда на технологичния модул „Кристал“.

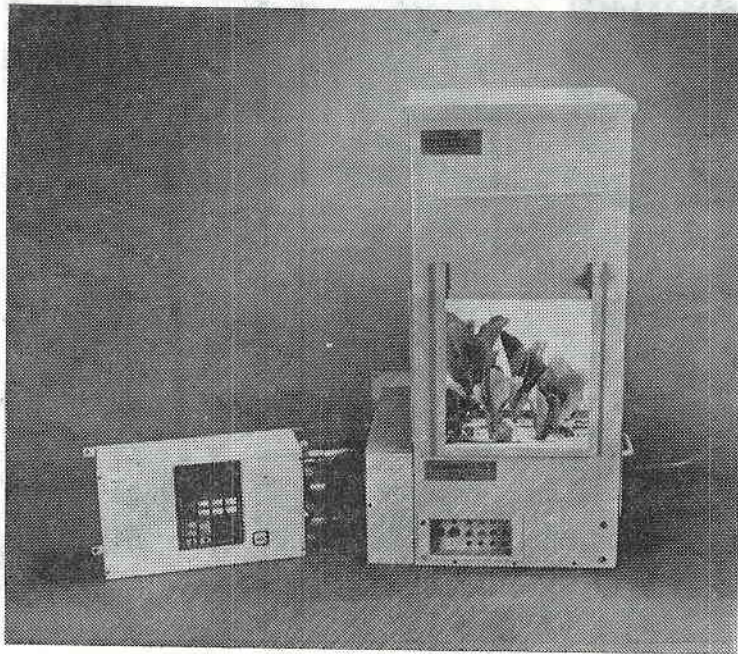
Условия за провеждане на експеримент на борда

Космическата оранжерия „СВЕТ“ бе разконсервирана от работещите в орбита от 13. II. 1990 г. космонавти А. Баладин и А. Соловьев. На 15. VI. 1990 г. бяха демонтирани от корпуса на отсека намиращите се в транспортно положение блок за осветление (поради чувствителността му) и вегетационен съд със субстрат (поради тежестта му) и бяха поставени в камерата за отглеждане на растенията в работното им положение. Бяха съединени кабелите, свързващи ги с блока за автоматично управление, захранван от бордовото напрежение ± 27 V, и предаващи необходимата информация на Земята по телеметричната система TMS.

Общият вид на космическата оранжерия „СВЕТ“ заедно с отгледаните в нея растения се вижда на фиг. 1. Това е т. нар. „главен образец“, идентичен с летателните, в които две години преди старта се провеждаха функционални изпитания. Данните, получени по време на предварителните експерименти, послужиха за сравнение с тези, получени в космически условия. Вдясно е камерата за отглеждане на растенията, а вляво — блокът за управление.

След пълното изпълнение на инструкцията за монтажа космонавтите са включили програмата за автоматична проверка на правилността му. За няколко минути автоматично се опипват всички измерителни управляващи системи, проверява се дали функционират. Тестовата проверка е преминала „без забележки“ и е включена програмата за зареждане на касетата със субстрата с необходимото количество вода. Касетата е разделена на две независими една от друга половинки К1 и К2. Смената на избраните растителни култури (при първия етап репички и китайско зеле) се засажда в 4×2 реда с помощта на специални устройства (за съхранение и ориентация).

Използваният за хранителна среда субстрат „Балканин“ на зеолитна основа е обогатен с минерални соли, за да осигури нормално отглеждане на 3—4 вегетации на зеленчуци. След това продуктивността се снижава рязко, като на десетата вегетация продукцията е 7—10% от контролната. Поради ниската влагоемност на гранулите на субстрата необходимата висока

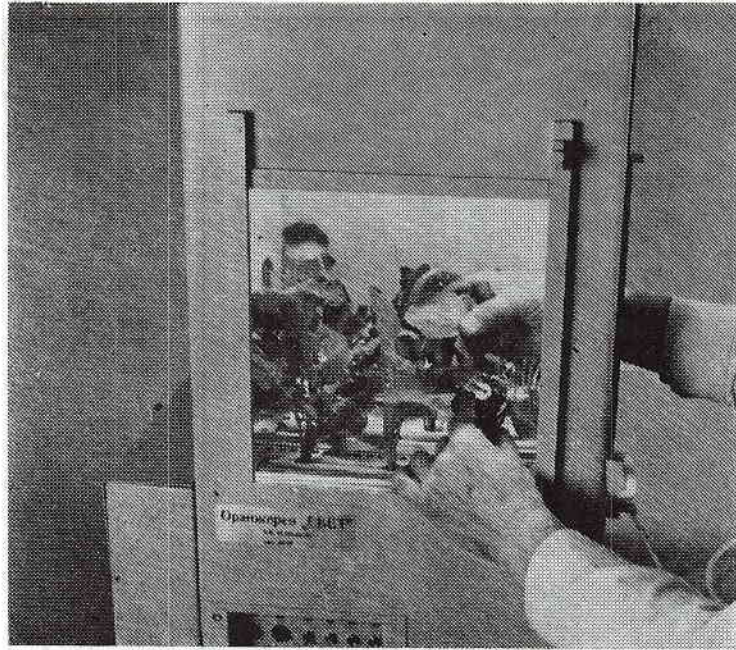


Фиг. 1. Снимка на бордовата система на космическа оранжерия „СВЕТ“

влажност (около 90%) за покълване на семената се осигурява с поливинилформолови фитили, обвити плътно около тръбите на хидросистемата, захранвана от водна помпа. Доброто аериране (обогатяване на кореновите системи с кислород) се осъществява от компресор и тръбна система, монтирана в субстрата. Стените на касетата са перфорирани, за да се подобри въздухообменът, за да се избегнат изпаренията само отгоре и засоляването на повърхностния слой на субстрата. Конструкцията на вегетационния съд е разработена специално в резултат на продължителни изследвания [1, 2].

Касетата със субстрата и тръбните системи се движат свободно по релси (като чекмедже) в камерата за отглеждане на растенията (КОР). След монтирането и фиксирането ѝ се включват изпълнителните механизми на хидроаеросистемата (помпа, компресор и вентил) и електронната измерително-управляваща система, разположени на дъното на КОР. В горната част на КОР е монтиран блокът за осветление (БО), който може да се премества вертикално и да се фиксира в различни позиции. В БО са разположени 12 малогабаритни луминесцентни лампи (специално производство), осигуряващи максималната осветеност на растенията в различни стадии на развитие, не по-малко от 12 000 lx. Продължителността на „деня“ е 16 h, а на „нощта“ — 8 h. Вентилаторът осигурява охлаждане на лампите и движение на въздуха в КОР със скорост на въздушния поток до 0,3 m/s.

КОР е боядисан отвътре с разработена за целта светоотражателна боя, в която липсват забранени за орбиталния обитаем отсек химически елементи. Две от стените на КОР се отварят, като едната е прозрачна, за да се обслужва спокойно камерата от оператора с две ръце (при засаждане на семената, при вземане на опитни образци и други манипулации) - - фиг. 2. В КОР са разположени датчиците за контролиране на параметрите на сре-

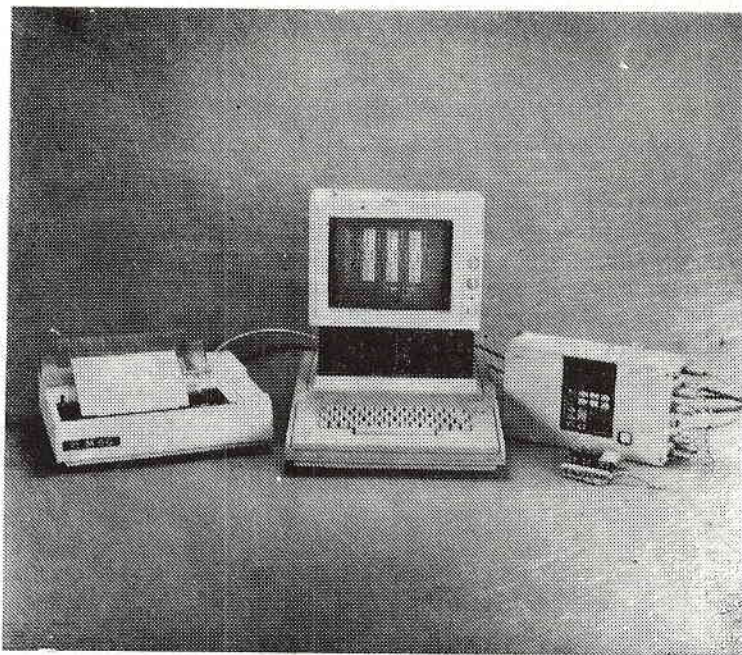


Фиг. 2. Вземане на образци от камерата за отглеждане на растения в космическата оранжерия „СВЕТ“

дата за отглеждане на растенията -- температурата и влажността на въздуха и субстрата (в различни зони), както и за следене на работата (включване и изключване) на осветлението, вентилатора, помпата и компресора.

Блокът за управление (БУ) присма и обработва информация от датчиците, като осъществява управлението на всички изпълнителни системи (осветителна, охлаждателна и напоителна) по определени, предварително заложиени програми и в зависимост от текущата информация. Специализирана микропроцесорна система осигурява висока степен на автоматизация на всички процеси в различните програми и възможност за визуален контрол и ръчно управление от оператора космонавт с помощта на пулт със светодиодни индикатори и клавиши, монтирани на лицевата страна на БУ (фиг. 1). В буферна памет на изхода на микропроцесорната система към телеметричната система (TMS) се натрупва информацията за последното денонощие на текущите параметри в камерата за отглеждане на растенията (регистрирани на всеки 4 h). Тези данни се изпращат три пъти дневно по време на пряка радиовръзка със станция „Мир“ и се приемат в Центъра за управление на полета — ИМБП, Москва. Специално пригoдената за целта апаратура (персонален компютър „Правец 8М“) приема и натрупва в дискета последователните телеметрични кадри за целия експеримент, като може да ги визуализира на монитора или да ги разпечатва на принтера (фиг. 3).

В табл. 1 е представен телеметричният кадър на едно денонощие (6 кадра през 4 часа) от работата на оранжерия „СВЕТ“ със следните означения на измерваните параметри: ТВ1 е температурата на входящия въздух; ТВ2 — температурата на въздуха в КОР; ВВ — влажността на въздуха



Фиг. 3. Контролноизпитателната апаратура

Таблица 1

Телеметричен кадър за едно депозиция от работата на космическата оранжерия „СВЕТ“

№	1	2	3	4	5	6
Ден	4	4	4	4	4	4
ТВ1, °C	20	20	20	20	20	20
ТВ2, °C	23	23	23	23	23	23
ВВ, %	74	74	75	74	74	74
ТС1, °C	26	27	27	28	28	28
ТС2, °C	27	28	29	29	29	29
ВС1, % 1/2	85/66	80/75	96/71	69/59	86/76	71/65
ВС1, % 3/4	63/75	79/72	78/82	99/98	91/68	72/90
ВС2, % 1/2	85/99	80/75	97/71	99/99	86/76	71/65
ВС2, % 3/4	95/83	81/99	78/83	71/98	59/68	72/91
РВ1, дози	2	0	0	3	1	1
РВ2, дози	0	0	0	0	3	1
ППО, min	240	240	240	240	0	0

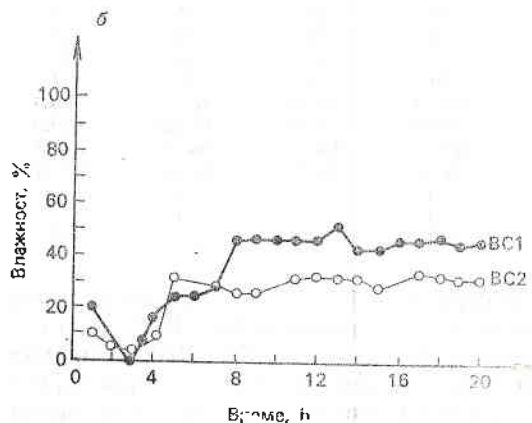
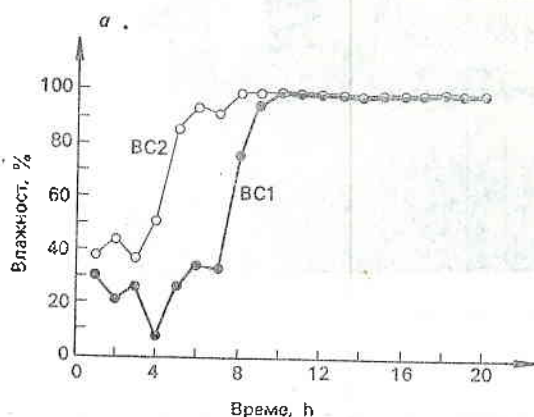
в КОР; ТС1 — температурата на субстрата в К1; ТС2 — температурата на субстрата в К2; ВС1 — влажността на субстрата в К1; ВС2 — влажността на субстрата в К2; РВ1 — разход на водата в К1; РВ2 — разход на водата в К2; ППО — продължителност на деня в минути. Влажността на субстрата се измерва на всеки кръгъл час (а другите параметри на всеки 4 часа) и телеметричният кадър съдържа съответно четири стойности на ВС1, 2 (1/2; 3/4).

Освен това е разработена програма за автоматична обработка и представяне на отделните параметри в табличен или графичен вид в различни мащаби на времето (часове или дни). Това позволява оперативна оценка

на състоянието на борда, намеса в управлението при необходимост и улеснява изключително много научния анализ на резултатите.

Резултати от първия етап на експеримента с оранжерия „СВЕТ“

На 16. VI. 1990 г. бе стартирана работната програма (Прог. 3) — автоматично управление на оранжерията, осигуряващо необходимите условия за покълване, растеж и развитие на посетите семена. Още по време на изпълнението на програмата за първоначално овлажняване (Прог. 2) бяха забелязани сериозни различия в показанията на датчиците, измерващи влажността на субстрата (BC1 и BC2) на борда



Фиг. 4. Графики на измерената влажност на субстрата от датчиците BC1, BC2, монтирани в двете полукасети на вегетационния съд при Програма 2 на бордов (а) „СВЕТ-4“ и наземен (б) „СВЕТ-2“ експеримент

на „СВЕТ-4“, и в наземния експеримент „СВЕТ-2“. Докато при последния експеримент, проведен на 26. III. 1990 г., се достига до BC1, BC2 около 40%, нормално за подаденото количество вода (30 дози по 12 ml — 360 ml), при бордовия (16. VI. 1990 г.) се стига до 100% влажност още преди изтичането на времетраенето на програмата (10 h) — фиг. 4. По всяка вероятност в безтегловност сериозно се затруднява поглъщането на влагата от субстрата и докато датчиците, разположени до фитила, показват високи стойности на влажността и не се подава вода, субстратът си остава сух. Този ефект е ясно изразен и в следващите дни от работата на оранжерията след стартирането на Прог. 3. В наземния образец продължава интензивното подаване на вода до достигане на регулираното ниво от 70%, а в бордовия „СВЕТ-4“ показанията на BC1 и BC2 са много високи, а постъпилата вода е далеч под необходимото количество.

Оперативната група, намираща се в ЦУП — Москва, бе взела решение да прекрати автоматичното управление на влажността BC1, BC2 от датчиците и да се премине към програмното овлажняване. Но при радиовръзката с екипажа на 22. VI. 1990 г. стана ясно,

че растенията са покълнали и бе повдигнато само нивото на регулиране. През следващите дни започна нормалното поемане на вода и овлажняване на субстрата, а растенията се развиваха добре, макар и изоставащи по фаза в сравнение с наземните.

На 29-ия ден част от растенията бяха обрани и хербаризирани, а на тяхно място засадени нови семена. На 54-ия ден при завръщането си екипажът донесе свежо обрани биологични образци в отлично състояние. Те бяха изследвани още на площадката за приземяване. Морфологичните им характеристики са нормални, по се забелязват забавяне на растежа (почти 2 пъти) и увеличаване на съдържанието на сухо вещество. За първи път бяха получени кореноплоди (грудки) на репички в условията на микрогравитацията.

Биологичната част на експеримента бе осъществена от специалисти на Института по физиология на растенията при БАН, които се заеха с подбора на сортовете растения и състава на хранителната среда, както и с оценка на биологичните им качества.

Проведен е анализ на динамиката на изменение на параметрите на средата по време на експеримента, като е отбелязано, че растенията са се намирали в благоприятни температурни условия (с изключение на периода от 35-ото до 37-ото денонощие), но разпределението на водата не се е осъществявало както в наземни условия. По време на първия етап от функционирането си на борда системите на оранжерия „СВЕТ“, осигуряващи развитието на висши растения в условията на орбитална станция „Мир“, показаха надеждна работа и доказаха ефективността на взетите технически решения.

Литература

1. Беркович, Ю. А., Т. Иванова и др. Вегетационный сосуд для растений. Авт. с-во № 142 4774/22. 05. 1988 г. на Гос. ком. по делам изобретений и открытий, СССР.
2. Беркович, Ю. А., Т. Иванова. Вегетационный сосуд для растений. Авт. с-во № 1598926/1989 г. на Гос. ком. по делам изобретений и открытий, СССР.
3. Иванова, Т. N., P. T. Kostov. Prospects for the Use of the Higher Plants in Space Flight Experiment "Substat". — In: 37th Congress of the IAF, Innsbruck, Austria, October 4-11, 1986, Rep. IAF/IAA-86-374.
4. Иванова, Т. N. et al. Test Results of the Operation Possibility of the "SVET" Greenhouse System. Current Trends in Cosmic Biology and Medicine (Edited by K. Boda). Kosice, CSFR, 1990.

Постъпила на 3. VI. 1991 г.

Higher plants growth support system used on space station "Mir"

Tanja Ivanova

(S u m m a r y)

The "SVET" greenhouse-designed and developed in the Space Research Institute at the Bulgarian Academy of Sciences is a system ensuring the most necessary technical and technological conditions for higher plants growing in weightlessness. It has been mounted in the "Crystal" technological module which docked successfully to one of the lateral units of the "Mir-Kvant-Soyuz" orbital complex on 10. VI. 1990. The first two months of onboard operation proved the effectiveness of the technical solutions — the first vegetables have been obtained, as the development conditions have been observed by telemetry. The study of the brought back biological samples demonstrated that they don't differ very much from the earth's plants.

Физически предпоставки на вакуумната трибология

Юлика Симеонова

Институт за космически изследвания, БАН

Проблемите на трибологичните процеси (триене, износване и смазване) във вакуум възникнаха по същество при създаване на първите изкуствени спътници на Земята и са свързани с изучаването и използването на космическото пространство. Поради това космическата трибология често е наричана вакуумна трибология.

Една от нейните съществени задачи е да осигури надеждна експлоатация на триещите елементи в среда със силно намалена плътност, обеднена по отношение на кислород и влага [1], където конвекционното охлаждане и традиционното смазване отсъстват [2].

Развитието на прецизните вакуумни технологии и техника разшири областта на приложение на космическата трибология и я направи актуална и в земни условия. Ежедневната практическа дейност на широк кръг специалисти — механици, технолози, конструктори и др., касае нейната специфика. Изхождайки от интереса към тази област, в статията се прави опит да се очертаят някои специфични характеристики на работещата във вакуум трибодвойка и се анализират някои физически предпоставки на вакуумната трибология.

Трибологичните процеси във вакуум са твърде сложни и нееднозначни, с предпоставки, изградени предимно феноменологично. Основните параметри се определят експериментално, а характерните зависимости носят емпиричен характер. Така например според една от най-разпространените и достигнали значително развитие теории — молекулно-механичната, коефициентът на триене f се определя, като се отчитат деформирането на материала и преодоляването на молекулните връзки в зоната на контакта [3].

$$(1) \quad f = \frac{T}{HB} + b + 0,44 \left(\frac{h}{r} \right)^{\frac{1}{2}},$$

където T определя силата на адхезионната връзка при срязване на по-мекия материал, HB е твърдостта на по-мекия материал, b — коефициентът, отчитащ връзката между адхезията и натоварването в контакта, h и r съответно са дълбочината и радиусът на внедряване на микронеровностите.

Тази често използвана формула при триенето във вакуум е неприложима. Тя не отчита изменението на състоянието на триещите повърхности и на работната среда, нарастването на адхезията и на пластичната деформация, както и промените при газовата проводимост на контактната хлабина [4]. Опитът показва, че трибопроцесите във вакуум са много чувствителни към собственото газоотделяне на материалите и сорбционните процеси в контактната зона. Това налага специализиран подход при определяне на трибологичните показатели. Така например коефициентът на триене се определя в условията на висок или свръхвисок вакуум и неговата стойност надвишава тази при триенето на въздух, както показват посочените в табл. 1 стойности на някои използвани в практиката материали [5, 6].

От експериментите следва, че при всяка работеща във вакуум трибодвойка има критично налягане на остатъчния газ в зоната на контакта, при което триенето и износването значително нарастват. То се определя по формулата

$$(2) \quad P_{кр} = P_0 + P_T,$$

където P_0 е налягането на остатъчния газ във вакуумната система, P_T — налягането в контактната зона в процеса на триене, зависещо от газоотделянето и от проводимостта на контактната хлабина. Зависи още от структурата и от технологията на взаимодействащите материали, от трибологичния режим, от конструкцията на трибовъзела и др. При работа на съчмен лагер във вакуум това налягане например може да се определи с израза [7]

$$(3) \quad P_T = 9,4 \cdot 10^{-11} \frac{z \lambda n (MT)^{1/2} (1 + \zeta)}{\alpha},$$

където z е броят на съчмите, λ — параметърът, отчитащ реалната гладкост на повърхността на съчмите, ζ — ъгълът на контакта на съчмите с канала, α — коефициентът на акомодация, M — молекулната маса на газа, T — температурата на газа в К и n — скоростта на въртене на вътрешния пръстен (обороти в минута). Зависимостта е емпирична и позволява да се оцени влиянието на работната среда (вакуума) върху работоспособността на лагера и дава известна възможност за конструктивно оптимизиране на трибовъзела, изхождайки от това, че $P_T < P_{кр}$. За космическото уредостроене този въпрос е актуален, тъй като използваните съчмени лагери често

Таблица 1

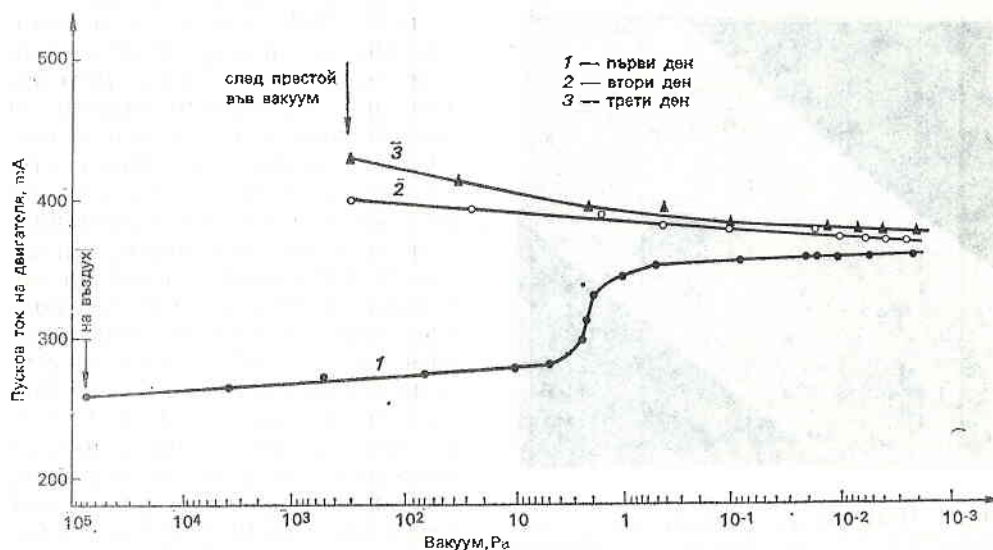
Трибодвойка	Коефициент на триене		Трибодвойка	Коефициент на триене	
	въздух	вакуум		въздух	вакуум
Fe — Fe	0,3	1,9	Ta — Ta	0,2	0,9
Fe — Pb	0,9	0,4	Mo — Mo	1,0	2,5
Стомана — неръждаема стомана	0,5	2,9	Cr — Cr	0,6	3,0
Неръждаема стомана — алуминий	0,4	0,3	W — W	0,2	1,4
Неръждаема стомана — месинг	0,4	0,8	Au — Au	0,6	4,5
Стомана ШХ-15 — мед	0,7	1,0	Sn — Sn	1,0	1,0
Месинг — месинг	0,4	0,7	Pb — Pb	1,0	1,9
Берилиев бронз — берилиев бронз	0,7	1,1	Метал — тсфлон	0,03—0,04	0,04
Al — Al	0,8	1,6—4,2	Метал — полиамид	1,0	1,9
Cu — Cu	0,5—1,0	4,8—21,0	Cu — MoS ₂	0,2	0,07
Cu — Ni	0,6	1,5—2,0	Cu — W	0,3	0,6

са подложени на продължителна работа във вакуум при строгите изисквания за надеждност и дълготрайност.

Износването на триещите повърхности зависи от степента на вакуума [8]. Експериментално са установени три области на влияние. Първата се отнася за т. нар. „област на слабо разреждане“ (до 10 Pa), при която окисните слоеве върху контактуващите повърхности имат решаващо значение. При втората (до 1 Pa) е характерно това, че окисите започват да се разрушават необратимо. При третата настъпва т. нар. „адаптация на триещата двойка“, при която износването слабо се променя. Началото на тази област е спорно поради влиянието на газоотделянето и на състава на остатъчния газ в контактната хлабина, на състоянието на повърхностите, на технологията на взаимодействащите материали и други [2].

Нашият опит показва, че характерът на влияние на степента на вакуума върху коефициента на триене има аналогичен характер. Това се вижда на фиг. 1, където е показана зависимостта на пусковия ток на двигателя, пропорционален на коефициента на триене, от степента на вакуума при сухо триене в трибодвойка от системата „вал—втулка“ при въртливо-възвратно движение със скорост 17,5^o/s [9]. Валът е направен от алуминиева сплав, а втулката от бронз.

Промените при взаимодействащите повърхности тук започват забележимо след 5 Pa, а адаптацията в трибодвойката след 5.10⁻¹ Pa. Кривата 1 отразява промените през първия ден от работата на трибодвойката във вакуум — от включването на двигателя и пускането на вакуумната система до получаването на висок вакуум. Тук се регистрират налягането в системата (Pa) и пусковият ток на двигателя в двете крайни положения на реверсиране посоката на движението. Нарастването на тока, характерно за експлоатацията във вакуум, може да бъде отнесено към нарастването на адхезията вследствие износването на окисите и на газовата десорбция от триещите повърхности. По същество характерът на тази крива отразява трите области на влияние на вакуума като работна среда и е специфичен за вакуумната трибология.



Фиг. 1. Зависимост на пусковия ток на двигателя от степента на вакуума в системата

Характерът на тази зависимост през следващите дни на експлоатация във вакуум (кривите 2 и 3) значително се променя. Приработването в контакта продължава и токът на двигателя, респ. коефициентът на трисне, слабо се променя.

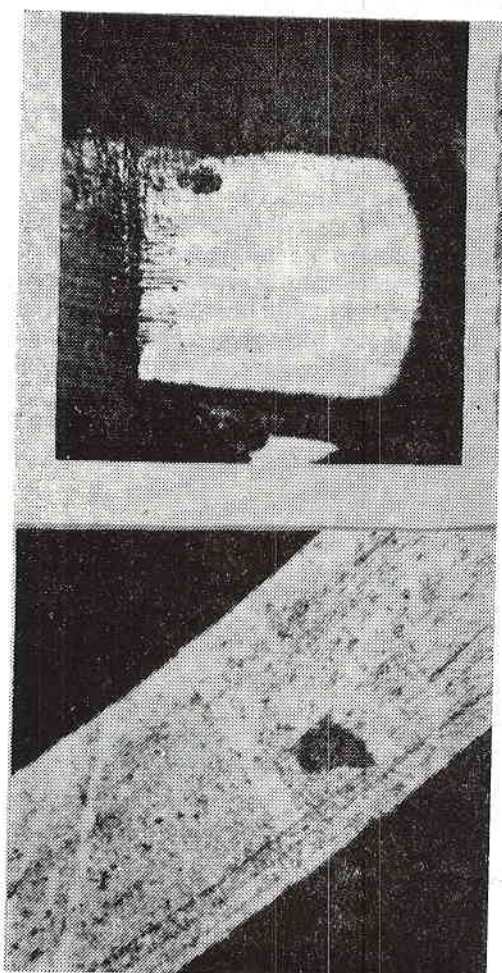
Ефектът на изчистяване на взаимодействащите повърхности, типичен за вакуумната трибология, е добре изразен след прекратяване на движението и престоя на трибодвойката във вакуум. Количествен израз на това е значителното нарастване на стартовата стойност на пусковия ток на двигателя. Продължителността на престоя във вакуум между дните на експлоатация е 12 часа.

Показаната на фиг. 1 зависимост се нарича вакуумна характеристика на трибпроцесите [10] и както показват експериментите, всяка трибодвойка притежава своите специфични особености. Тя се определя експериментално и играе определена роля при окачествяване на взаимодействащите тела като трибовъзел.

Дава възможност за прогнозиране на неговото поведение при продължителна работа в условията на висок вакуум.

Вакуумната трибология като част от съвременната трибологична наука разглежда промените в контакта на взаимодействащите тела като сложна физическо образувание, наричано „трето тяло“, със специфични свойства, произтичащи от самата работна среда. Отсъствието на смазка и на конвекционно охлаждане увеличават температурата в зоната на контакта. Това стимулира пластичната деформация, адхезията, десорбцията и дифузията в приповърхностните слоеве. Вследствие на износването окисите и адсорбционните структури се разрушават необратимо. Третото тяло променя природата си при взаимодействието на изчистените (ювенилите) повърхности, при което се наблюдават пренос на материал, възникване на центрове на задиране, начало на „стик-слип“ ефект и дори образуване на студена заварка и блокиране на движението в контакта [1, 2, 9, 10]. На фиг. 2 като илюстрация са показани центрове на задиране, възникнали при сухо триене във висок вакуум (10^{-4} Pa) в трибодвойка, описана в [9].

Спецификата на трибпроце-



Фиг. 2. Центрове на задиране върху триещата повърхност на елементи от трибодвойка, работеща във висок вакуум в режим на сухо триене [9].

сите във вакуум, обусловена от физиката на повърхността, от особеностите на средата и закономерностите на взаимодействието поставят пред изследователите сложни проблеми. Например подборът на материалите за трибодвойки за работа във вакуум изисква прецизни изследвания на триещата повърхност със съвременни физически методи за анализ, изучаване на динамиката на газоотделянето в зоната на контакта, съчетани в контрол върху основните трибопоказатели в условията на висок вакуум. Този комплексен подход с наложителен при съставяне на трибовъзли, предназначени за продължителна работа в Космоса.

Натрупаният експериментален опит, включително и от наши изследвания, позволява да се направят някои изводи от по-общ характер.

1. Нетрадиционното протичане на трибопроцесите във вакуум и значителното изменение на трибопоказателите във времето налагат предварително охарактеризиране на материалите в симулирана вакуумна среда, близка до работната.

2. Трибовъзлите за работа във вакуум се нуждаят от експериментално определяне във вакуум на специфичните физико-механични характеристики, отразяващи общите закономерности във вакуумната трибология, а също и на конкретни особености, произтичащи от определени фактори.

3. Трибологичните изследвания във висок вакуум, съчетани с прецизни физически анализи на материалите и на средата, позволяват изучаване на реалната физическа повърхност и на процесите, формиращи третото тяло в екстремални условия.

Изказвам своята благодарност на проф. д.т.н. Нягол Манолов за полезната дискусия в разглежданата област.

Литература

1. С и л и п, А. А. Трение в космическом вакууме. — Трение и износ, 1, 1980, № 1, с. 168.
2. К а н д е в а, М., Ю. Симеонова, Н. Манолов, В. Пътов. Особенности на трибологичните явления в Космоса. — Аерокосмически изследвания в България, 1991, № 8, с. 33.
3. К р а г е л с к и й, И. В. и др. Трение и износ в вакууме. М., Машиностроение, 1973.
4. М а н о л о в, Н. Т. Пневмо-хидравличен метод в трибологията. Докторска дисертация. София—ВМЕИ „Ленин“, 1984.
5. Трение, изнашивание и смазка. Справочная книга 1. М., Машиностроение, 1978.
6. Трение, изнашивание и смазка. Справочная книга 2. М., Машиностроение, 1979.
7. П о л к о, В. М. Влияние вакуума на работоспособность подшипников качения. — Специформцентр подшип. промыш., 4, 1973.
8. К а н а р ч у к, В. Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям. Киев, Наукова думка, 1986.
9. Симеонова, Ю., Н. Гиздова, А. Шошов, Д. Йорданов. Особенности при използване на алуминиева сплав като елемент от трибодвойка, работеща във вакуум. Национален семинар с международно участие „ТРИБОЛОГИЯ-90“, София, Сборник доклади, т. 1, 1990, с. 130.
10. Н у с и н о в, М. Д. Воздействие и моделирование космического вакуума. М., Машиностроение, 1982.
11. Д р о з д о в, Ю. Н., В. Г. Павлов, В. Н. Пучков. Трение и износ в экстремальных условиях. М., Машиностроение, 1986.
12. F e r r a n t e, J. Applications of surface analysis and surface theory in tribology. — Surface and Interface Analysis, 14, 1989, p. 809.

Постъпила на 18. III. 1991 г.

Physical prerequisites of vacuum tribology

Yulika Simeonova

(Summary)

Some specific peculiarities and physical and mechanical characteristics in the field of vacuum tribology are discussed. Experiment is conducted for analysis of some physical prerequisites, concerning objects' interaction contact surface in vacuum as a complex physical formation (third body), determined by the working environment.

Some peculiarities of the biosignals digital processing in space using the "ZORA" system for data acquisition and processing

Roumen Nedkov, Svetozar Simeonov, Stojan Tanev

Space Research Institute, Bulgarian Academy of Sciences

The present work is dedicated to the assessment of a problem that is of primary importance for the space and ground-based missions, i. e. — to the human organism as a complex biosystem and focus of all projects for space exploration and utilization. This problem is not to be solved without the automatic digital systems for data acquisition and processing for study of the psychophysiological status and working ability variation mechanisms in closed ecosystems characterized by processes dynamics during space missions of varying duration [1, 2].

The fundamental problem for the processes dynamics study of that complex biosystem — the human organism — in long-term space missions (over 30 days) is solved using a closed technological circuit of the functional model synthesis, as shown on Fig. 1. The studies include theoretical and engineering

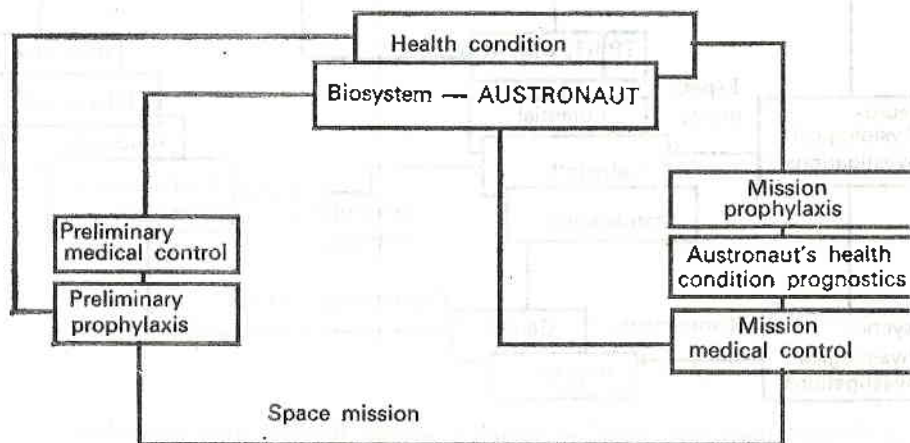


Fig. 1. General functional model of a medical control and prophylaxis technology for long-term space missions

modelling of the obtained biosignals using automatic responding DAPDS [1, 2, 6].

The first step for the solution of that problem is the Bulgarian automatic on-board multicomputer system for data acquisition and processing "ZORA". The DAPDS "ZORA" is the nucleus and the instrument for the realization of a new technology of complex medical analysis connected with the problem of the working ability and the psychophysiological status of the astronauts in space missions of varying duration.

The essence of the new technology is the following: in real time mode and during space missions of varying duration to study the processes and mechanisms of the astronauts' psychophysiological status and working ability deviations for the purpose of their health status assessment and prognostics.

A complex test program is developed including the following experiments:

— "LABYRINTH" — Analysis of the ocular-vestibular interactions distortion mechanisms and development that follow into the group of the space motor disease. An assessment is made of the optokinetic and vestibular stimulation during vestibular and ocular-motor malfunctions.

— "STATOKINETICS" — Study of the mechanisms of posture control, the characteristics of the various groups of motions and the locomotory afferentation with the occurrence of dislocations.

— "POTENTIAL" — Study of the muscular fibres membrane stimulation vector.

— "LEISURE TIME", "QUESTIONARY" — Study of the astronauts' individual psychophysiological adaptation to space flight conditions and the readaptation processes. An assessment of the psychophysiological status and an improvement of the mechanisms to keep up that status are made.

The synthesised functional model of that technology for complex medical analysis during space missions is shown on Fig. 2. The contribution in this

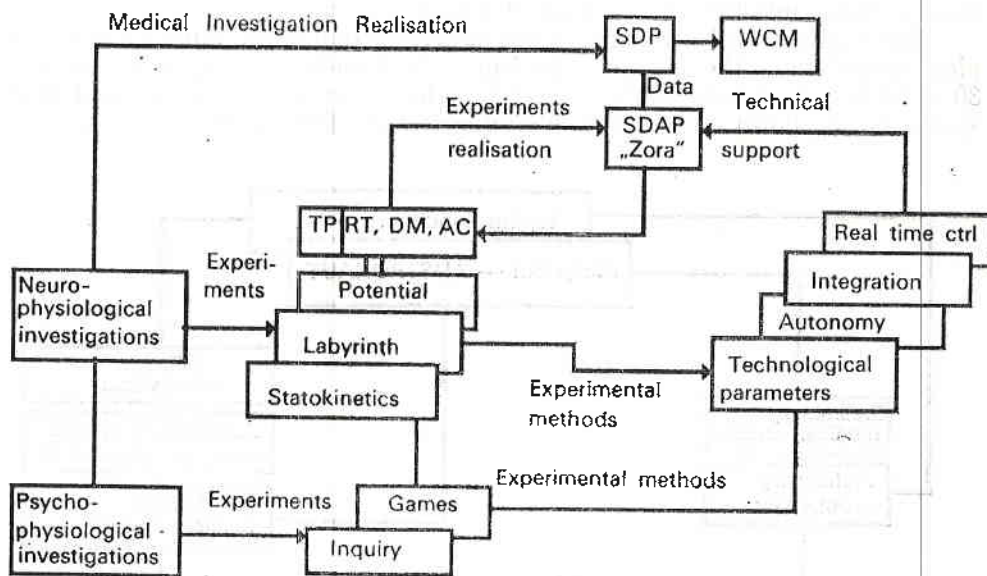


Fig. 2. General functional model of complex medical investigations technology. SDAP — system for data acquisition and processing; TP — telemetric port; RT — real time; DM — data memory; AC — automatic control; SDP — secondary data processing; WCM — work capability monitoring

case is the use of an expert filtration in determining the source and character of the biosignal in real time and automatically [1, 2, 8].

The biosignals carry information for the complex processes taking place in the human biosystem and their processing is specific. The need of automatic digital processing from clinical point of view arises from the further improvement of the reliability and quality of the obtained results.

The advantages of the automatic digital signal processing are well known and have been the subject of numerous monographs and publications [3, 4, 5]. The biosignals are efficiently processed using the digital methods and systems [6, 7, 8].

The automatic biosignals processing allows the quick estimation of a large volume of bioinformation applied further in the biopotentials processing (ECG, miograms — MG, ocugrams — EOC, EEG, etc.).

The use of digital biosignals processing methods eliminates the phase distortions characteristic for the analog systems. Thus, high precision and objectiveness of the diagnostics is reached.

Using the linear systems theory the requirement for lack of distortions in the processed input signal can be presented analytically as follows:

$$(1) \quad H(j2\pi f) = |H(j2\pi f)|e^{-j\varphi(2\pi f)} = Ke^{-j2\pi ft_0},$$

where the phase characteristic $\varphi(2\pi f)$ is linear, hence the output signal delay compared to the input is constant and the amplification K remains unchanged in the given frequency line.

An analog multiplexor, a tracing and storage circuit and an analog-to-digit converter "ADC" are used for the biosignals digital processing, obtained from sensors, converting physical quantities. The biosignals thus converted into digits are inserted into the input of a multicomputer system (MCS) where their actual processing takes place [1, 2, 6, 8].

In that case a blocking discretization with signal mean value is used in the conversion.

The mathematical conversion processing model of this type of discretization is given with the following equations:

$$(2) \quad \bar{x}_{kT_D} = \frac{1}{\tau} \int_{kT_D - \tau}^{kT_D} x(t) dt,$$

where \bar{x}_{kT_D} is the input ADC signal and τ is the mean interval, T_D is the discretization period.

Using a function of the following type:

$$(3) \quad W_{0,5\tau}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } |t| \leq 0,5\tau \\ 0 & \text{if } |t| > 0,5\tau \end{cases}$$

for the input ADC signal $\hat{x}(t)$

$$(4) \quad \hat{x}(t) = \frac{1}{\tau} [x(t) * W_{0,5\tau}(t)] \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT_D)$$

is obtained. For the output frequency range, the discrete signal value is obtained

$$(5) \quad TF[\hat{x}(t)] = \left[X(f) \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} e^{-j\pi f \tau} \right] * F_D \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nF_D),$$

$$(6) \quad X_1(f) = X(f) [\sin(\pi f \tau) / (\pi f \tau)] e^{-j\pi f \tau},$$

where $TF[\hat{x}(t)]$ is the Fourier discrete conversion, $X(f)$ is real spectrum, and

$X_1(f)$ is the real spectrum after processing. From (6) it is that the spectrum amplitude module has changed $\sin(\pi f \tau)/(\pi f \tau)$ times while the phase is $\varphi = \pi f \tau$. The error ε for the $\hat{x}(t)$ spectrum is:

$$(7) \quad \varepsilon = \frac{X(f) - X_1(f)}{X(f)} = 1 - \frac{\sin \pi f \tau}{\pi f \tau} e^{-j/\pi f \tau}.$$

In that case in order to minimize the error it is necessary to follow the conditions, namely:

$$(8) \quad [\sin(\pi f \tau)/(\pi f \tau)] \geq 0,999,$$

$$(9) \quad \varphi = \pi f \tau \leq \Delta \varphi, \quad \Delta \varphi = 1^\circ \div 5^\circ.$$

The solution of that equations shows that $\xi = \tau/T_D$ the coefficient of fullness be smaller or equal to 0,05 while the amplitude error is 0,1% and the phase error is 2%.

When the mean interval is approaching zero the amplitude error and the phase error are decreasing. As the frequency of the input signal is low (for the miogram $f_{\max} = 1 \text{ kHz}$, $f_{\min} = 2 \text{ Hz}$ and for the oculogram $f_{\max} = 25 \text{ Hz}$, $f_{\min} = 0,1 \text{ Hz}$) and the conversion period $T_{\text{conv}} = 10 \mu\text{s}$ is several times smaller, the conversion error is minimal and practically negligible [1, 2, 6, 8].

Some methods of processing give considerable effect, very favourable for diagnostics.

a) under low frequency filtration ($f = 40 \div 50 \text{ Hz}$) the muscular tremour noise level is lower;

b) under line filtration at the pre-determined frequencies the EEG rhythms are α_i , β_i .

The necessary frequencies are observed against the background of noise that depends on the potential variations and the neurons activity, as those signals pass a great distance from the source to the electrodes. It is necessary to obtain the image of Fourier of the autocorrelation function.

This method is not frequently used as there are no specific calculation methods for determining in real time the correlation function.

The only method of comparison of two EMG is the visual. It takes a two-three year's period for a specialist to master the comparison methods using the Catalogue of the real EMG and be able to find out the similarities and differences between a real EMG and those in the catalog.

For the solution of that problem a minimal expert system is used consisting of data about some characteristic functions given in table form describing the model biosignals and some of their characteristics necessary for the expert filtration, the express on-board processing and the secondary ground processing.

That allows the discrimination of the human factor in the results assessment and leads to higher objectivity of the estimation. At the same time the decision-taking period is shortened.

That fact determines the importance of the new technology for study of the processes taking place in the complex biosystem — the human being — in space environment.

Using that new technology on board the "Mir" orbital station in varying in duration space missions (up to 10 days — the Bulgarian-Soviet and Soviet-Afghanistan missions and up to and over 30 — Soviet missions) [1, 2] definite results have been obtained.

The development of medical space laboratory with distributed resources is advisable as a distributed expert system on the basis of automatized systems

for responding data acquisition and processing and remote sensors for bio-signals registration.

Such a minilaboratory in space environment will be used for obtaining results that are vital for the long-term space missions (e. g. flights to Mars). In the case in order to solve the above mentioned problem a number of analysis are necessary to be conducted for the scientific problems, as follows:

1. Modelling and development of automatic responding DAPDS and technologies supplying measurement and evaluation of a number of parameters of the bio- and psychophysiological status under varying ecosystems;

2. Development of modifications of ground-based technological equipment for early diagnostics of the bio- and psychophysiological status caused by deterioration of the ecological parameters;

3. Study of the mechanisms influencing the change rate of the human bio- and psychophysiological status.

Above all it is necessary to know in details the problems occurring in the reactions of the human organism under the influence of the new factors and environment.

The studies will contribute to the determination of the impact of various ecosystems on the mechanisms and rate of change of the bio- and psychophysiological status of the human being under the conditions of various ecosystems for the purpose of short and long term prognostics of the health status.

References

1. Недков, Р. и др. Комплексное исследование работоспособности космонавтов по проекту „ШИПКА“. — Тезисы докладов, XXII Совещание ПДРГ по космической биологии и медицине, Варна, май 1989.
2. Недков, Р. и др. Техническое и технологическое обеспечение медико-биологической программы проекта „ШИПКА“. — Окончательный отчет, БАН, 4, 1990.
3. Rabiner, L., B. Gold. Theory and Application of Digital Signal Processing. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1975.
4. Блейхут, Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М., Мир, 1989, 18—31.
5. Oppenheim, A. Theory and Application of Digital Signal Processing. New Jersey, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1978.
6. Недков, Р. и др. — Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1991, № 5, 56—59.
7. Фор, А. Восприятие и распознавание образов. М., Машиностроение, 1989, 98—108, 113—122, 212—216.
8. Система сбора и обработки данных „ЗОРА“. Космическая медицина 01. 001. 00. 00 — Техническое описание, ИКИ—БАН, 1987.

Received 22. 11. 1991

Някои особености на цифровата обработка на биосигналите при използване на системата за сбор и обработка на данни „ЗОРА“

Румен Недков, Светозар Симеонов, Стоян Танев

(Резюме)

В статията са изложени някои особености на използваните в системата за сбор и обработка на данни (ССОД) „ЗОРА“ принципи и методи на цифрова обработка на сигнали. Разгледани са конкретни математически модели, методи за цифрова обработка и тяхното приложение в космически условия. Направени са изводи за перспективите на развитие на ССОД като елементи на космически медико-биологични лаборатории.

Система за интелектуална цифрова обработка на биомедицински сигнали в космически условия

Румен Недков

Институт за космически изследвания, БАН

I. Въведение

Проблемите, свързани с изследване, контрол и прогнозиране на здравословното състояние на астронавтите, са актуални за всяка космическа експедиция независимо от нейното времетраене.

За решаване на тези задачи на космическата медицина се налага да се използват нови по-съвършени инструменти, каквито са методите и системите за цифрова обработка на биомедицински сигнали (ЦОБС).

В тази насока са направени първи успешни стъпки [1—5]. Положителните резултати от тези първи опити дават основание да се направи извод, че е необходимо да се продължат изследванията в областта на ЦОБС.

Целта на тези изследвания са усъвършенстване на съществуващите и създаване на нови поколения системи за ЦОБС за работа в космически условия.

На базата на резултатите от апробирането на предложените системи за ЦОБС и изискванията към тях за работа в условия на микрогравитация при провеждане на медицински изследвания могат да се обобщят следните насоки за тяхното по-нататъшно развитие.

— Ефективно съвместяване на процесите на ЦОБС и символната обработка с цел създаване на поколения интелектуални системи за ЦОБС.

— Използване на цифрови сигнални процесори с харвардска структура за увеличаване на изчислителната мощност и работа в режим на реално време на системите за ЦОБС.

— Експресна валидация на резултатите от медицинските изследвания в условията на космическия полет. Диагностика, контрол и прогнозиране на здравословното състояние на астронавтите в реално време.

II. Архитектура на системата

А. Архитектурни принципи на организация на интелектуалната система за ЦОБС

Анализът на резултатите от използване на системи за ЦОБС при космически медицински изследвания показва, че в архитектурата на второто поколение системи (интелектуални системи за ЦОБС) трябва да бъдат отразени следните особености [5—7]:

— За постигане на висока скорост на обработката при максимални параметри на биоинформационния поток е необходимо всеки модул за ЦОБС да бъде автономен.

— Връзката между отделните модули на системата не трябва да зависи от алгоритъма за ЦОБС.

— Обменът на информацията между модулите за ЦОБС, аналоговия интерфейс и обслужващия микрокомпютър се осъществява с помощта на комуникационни процесори, които работят под управлението на главния монитор на системата. Първият комуникационен процесор служи за управление на обмена между модулите за ЦОБС и източника на информация (биодатчиците). Той се управлява от втория комуникационен процесор, т. е. от диспечера на шината за ЦОБС (ДШЦОБС).

Вторият комуникационен процесор управлява обмена на информацията по вътрешна шина (ВШЦОБС), която свързва отделните модули за ЦОБС.

— Възможност за развитие и усъвършенстване на системата при минимално (модулно) изменение на хардуера и софтуера.

Б. Структура на архитектурата

Структурната схема на системата за интелектуална ЦОБС (система за ЦОБС — второ поколение) е показана на фиг. 1.

Архитектурата е построена на основата на принципите, които са изложени в т. А. Конкретно това означава, че се осъществява разделяне на информационните потоци според техния обем и скорост. Реализира се паралелна ЦОБС, която ефективно е съвместена със символната обработка.

В предложената архитектура тези цели са постигнати, като са използвани отделни модули (апаратни и програмни) за ЦОБС, символна обработка и ефективни елементи за връзка и обмен на информацията между тях.

В качеството на свързващи елементи между ЦОБС и символната обработка е използван ДШЦОБС. Той управлява комуникациите между отделните модули на ЦОБС, интерфейса на обслужващия микрокомпютър (ИОМК) и неговата работа не зависи от алгоритъма на ЦОБС и алгоритъма на символната обработка.

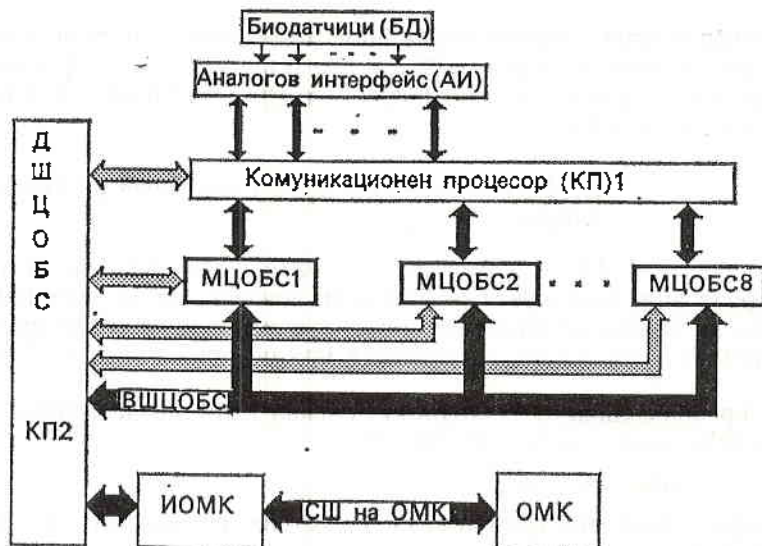
В архитектурата на системата са използвани осем модула за ЦОБС и един обслужващ микрокомпютър (ОМК).

В модулите за ЦОБС се реализира конвейерен режим на обработка на базата на цифровите сигнални процесори с харвардска структура.

В. Апаратни и програмни средства на системата

В качеството на модули за ЦОБС могат да се използват различни цифрови сигнални процесори с харвардска структура.

Известни са различни такива, като DSP56200, TMS320C2x, TMS320C3x,



Фиг. 1. Структурна схема на системата
 МЦОБС — модул за цифрова обработка на биомедицински сигнали, ИОМК — интерфейс на обслужващия микрокомпютър, ОМК — обслужващ микрокомпютър, СШ на ОМК — системна шина на ОМК, ВШЦОБС — вътрешна системна шина за цифрова обработка на сигнали

TMS320C5x, T9506, VSP (LEUTRON VISION), INMOS T800/805 или IMST414/425 [8—13].

В различни изследвания, където се използва ЦОБС, най-често се използва цифров сигнален процесор (ЦСП от английския превод на Digital Signal Processor — DSP) от типа TMS320Cxx, производство на фирмата Texas Instruments.

Този процесор е подходящ, защото за него съществуват разработена периферия и интерфейс, освен това има добре развит софтуер. Скоростта на последните разпространени версии (TMS320C2x до TMS320C5x) варира в границите от $28,6 \cdot 10^6$ до $33,0 \cdot 10^6$ операции за секунда (MIPS) [13].

В качеството на комуникационни процесори се използват стандартни 16/32 битови процесори INTEL 286/386 с тактова честота от 25 до 50 MHz.

В ролята на ОМК се използва процесор i386 с тактова честота от 25 до 50 MHz.

II. Методика на обработка

В общия случай биомедицинските сигнали (БМС) се разделят на два класа [14, 15]:

— Едномерни биомедицински сигнали. Към този клас могат да бъдат отнесени електроенцефалограми (ЕЕГ), евокирани потенциали (ЕП), електромиограми (ЕМГ), електрокардиограми (ЕКГ), електрооколограми (ЕОГ), артериално кръвно налягане (АКН), честота на сърдечния пулс (ЧСП), кожно съпротивление;

— Вторият клас БМС са двумерните. Към него се отнасят сигнали от радиологични прибори, рентгенови и томографски изображения, ултра-

звукови изображения, термоизображения. Обобщено към този клас могат да се причислят всички видове БМС, които имат двумерен характер.

В настоящата статия се разглежда методика за ЦОБС, които принадлежат и на двата класа.

А. Разпознаване на БМС с помощта на корелационен анализ

При постъпване на сигнал от БД той се преобразува в цифров вид, след което се извършва цифров автокорелационен анализ. Целта на автокорелационния анализ е разпознаване на сигнала на фона на шума и определяне на неговата принадлежност (ЕЕГ, ЕОГ, ЕМГ и др.).

След преобразуването изходният сигнал $x(k)$ представлява сума от истинския БМС $b(k)$ и шум $n(k)$ [16—18]

$$(1) \quad x(k) = b(k) + n(k).$$

Автокорелационната функция на сумарния сигнал $x(i)$ се представя с уравнението

$$(2) \quad C_{xx}(i) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) x(k-i).$$

При определена стойност на автокорелационната функция, която надвишава предварително зададена стойност $C_{\text{ем}}$, се приема, че това е търсеният сигнал, в противен случай процедурата продължава.

След като бъде разпознат БМС, той се подлага на цифрова филтрация, целта на която е определяне на неговата принадлежност.

Едновременно с филтрацията се извършва и спектрален анализ с детайлизиране на информацията, която се съдържа в сигнала. Това е необходимо за следващия етап на обработката — експрес-анализ на контролираните психофизиологични параметри с цел установяване на здравословния статус на астронавтите и неговото прогнозиране.

Б. Филтрация и спектрален анализ на БМС

Филтрацията може да се реализира по няколко начина. Преимуществено в тези случаи се използват два метода на филтрация — цифрова филтрация, реализирана с помощта на цифрови филтри с крайна импулсна характеристика, и адаптивна цифрова филтрация. Математическите модели на двата метода на филтрация са отразени със следните изрази:

$$(3) \quad b(i) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) x(k-i),$$

$$(4) \quad e(i) = d(i) - \sum_{k=0}^{N-1} h(k) x(k-i).$$

Ако например е необходимо да се идентифицират α -, β - или δ -ритми, в първия случай се получава следният образ (за α -ритми):

$$(5) \quad \alpha^*(i) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k) \alpha(k-i),$$

а при втория вид филтрация:

$$(6) \quad e_a(i) = d_a(i) - \sum_{k=0}^{N-1} h(k) a(k-i).$$

Експериментално може да се установи за кои типове БМС какъв вид филтрация трябва да се използва.

Спектралният анализ се реализира на базата на бързо преобразуване на Фурие (БПФ).

В. Експрес-анализ

Експрес-анализът се извършва с помощта на ОМК. Алгоритмите на обработката се определят в зависимост от вида на медицинските изследвания. Прогнозирането на здравословния статус се осъществява в реално време и не зависи от алгоритъма на ЦОБС.

Литература

1. Потапов, А. Н. и др. — Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1991, № 4, 26—30.
2. Фор, А. Восприятие и распознавание образов. М., Машиностроение, 1989, 98—103, 113—122, 212—216.
3. Недков, Р. Д. и др. — Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1991, № 5, 56—59.
4. Nedkov, R., S. Simeonov, S. Tapchev. — Аерокосмически изследвания в България, № 10 (под печат).
5. Баевский, Р. М. — Космическая биология и авиакосмическая медицина, 1991, № 4, 21—26.
6. Гас, В. К. и др. — Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике. Перевод с англ. (Proceedings of the IEEE, 1987, 75, No 9, 120-136), 1987, 75, 120—136.
7. News Letters — LEUTRON VISION, 1991, No 10, 6-12.
8. Хилмен, Г. Д. и др. — Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике. Перевод с англ. (Proceedings of the IEEE, 1987, 75, No 9, 52-60), 1987, 75, 52—60.
9. Куйсянъ, Л. и др. — Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике. Перевод с англ. (Proceedings of the IEEE, 1987, 75, No 9, 8-28), 1987, 75, 8—28.
10. Сугай, М. и др. — Труды Института инженеров по электронике и радиоэлектронике. Перевод с англ. (Proceedings of the IEEE, 1987, 75, No 9, 28—29), 1987, 75, 28—29.
11. Digital Signal Processing Application with the TMS320 Family. Texas Instruments. Signal Processing Series, Prentice Hall, 1988-1991, 1-3.
12. Image Processing with LEUTRON VISION — more than 10 years of experience. Product Catalog, 1991, 18—20.
13. Texas Instruments TMS320C5x DSP. Preview Bulletin — Printed in USA, 1990, 1-7.
14. Капеллини, В. и др. Цифровые фильтры и их применение. М., Энергоатомиздат, 1983, 295—307.
15. Шагас, Ч. Вызванные потенциалы мозга в норме и патологии. М., Мир, 1972.
16. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М., Мир, 1, 1983, 203—210.
17. Макс, Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. М., Мир, 2, 1983, 160—164.
18. Блейхут, Р. Быстрые алгоритмы цифровой обработки сигналов. М., Мир, 1989, 18—31.

Постъпила на 7. IV. 1993 г.

System for intelligent digital biosignal processing on space board

Roumen Nedkov

(S u m m a r y)

In the article the problems of digital biosignal processing (DBSP) on space board are examined. As an instrument for realization of DBSP an intelligent system is proposed. In this system the digital and the symbol processing are distinguished.

The proposed intelligent system is a new generation system.

Метод на допълнителната променлива в задачата за филтрация на пространствените координати и параметрите на движение на подвижни обекти

Венцеслав Рашков, Ангел Христов

Институт за космически изследвания, БАН

I. Въведение

Една от възможностите за удовлетворяване на високоточностните нужди на съвременната комуникация и транспорт е развитието на многопозиционни радиотехнически навигационни системи (МРНС) [1]. Основен проблем при усъвършенстване на съществуващите и разработка на нови МРНС се явява по-нататъшното повишаване на тяхната точност и шумоустойчивост.

Решаването на този проблем без допълнителни апаратурни усложнения и оскъпяване на системата се осъществява чрез реализация на оптимален алгоритъм за обработка на сигнали, основан на пълно извличане на информацията от радиосигнала. Точността на филтрацията може да бъде повишена за сметка на използване на алгоритми с обединена синхронизация, използващи съвместната информация за задръжката на сигнала, съдържаща се в обвиващата и във фазата на високочестотното запълнение [2].

Ще се спрем по-подробно на нелинейната филтрация при многомодално апостериорно разпределение [3]. Съгласно с теорията на оптималната филтрация на марковски процеси точното решение на задачата на филтрация се свежда към рекурентни уравнения за апостериорната плътност на вероятността (АПВ) на неизвестните параметри $p(t, \lambda)$. Но непосредствената реализация на тези уравнения в повечето случаи е невъзможна. За приближено решаване са предложени редица методи, от които основен остава методът на гаусова апроксимация, водещ към алгоритми, близки до разширен филтър на Калман. В задачите на обединена синхронизация [2,5] този метод дава неработоспособни алгоритми, тъй като АПВ има изразен многопиков характер. В този случай еднопиковата нормална плътност на вероятността не може да осигури удовлетворителна апроксимация на АПВ. Ето защо използването

на метода на гаусово приближение води към алгоритми на филтрация с характерна нееднозначност.

Обикновено причина за многопиковия характер на $p(t, \lambda)$ се явява наличието на някаква периодична функция от λ в моделите на наблюдението или съобщението.

За отчитане на многопиковостта на АПВ може да се предложат различни апроксимации. Очевидни са опитите [2,5] за използване на полигаусова апроксимация. Недостатък на такъв подход се явяват големият брой неизвестни параметри на разпределение и следователно сложността на реализацията. В [2,5] е предложена и изследвана апроксимация на АПВ чрез произведение на гаусова обвиваща и периодично запълнение. В [5, 6] е предложен подход, наречен метод на разделяне на задръжките. Той позволява да се освободим от някои ограничения на другите методи, разгледани в [2,5]; води към прости алгоритми, удобни за реализация и отличаващи се с по-голяма общност.

При псевдодалекомерен метод задачата се свежда към оптимално определяне на координатите на подвижния обект (ПО) по наблюдението на сигналите в условия на шумове с отчитане наличието на разсъгласуване на времето на опорния генератор на подвижния обект относно времето на синхронните източници на излъчване (ИИ).

2. Формулировка на задачата

На ПО с координати $X = (x, y, z)$ се наблюдават сигнали от три ИИ с известни координати $X_k = (x_k, y_k, z_k)$, $k=1, 2, 3$ в правоъгълна координатна система. На входа на приемника на ПО се наблюдава

$$(1) \quad \xi(t) = s(t, \lambda(t)) + n(t),$$

където $s(t, \lambda(t)) = \sum_{k=1}^3 s_k(t - T_k(\lambda))$ е полезен сигнал, представляващ сума от сигналите $s_k(t - T_k(\lambda))$ от всеки ИИ:

$$(2) \quad s_k(t - T_k(\lambda)) = f_k(t - T_k(\lambda)) \cos[\omega_0(t - T_k(\lambda))];$$

$T_k(\lambda) = \tau_k(X) + \Delta$ е време на пристигане на сигнала от k -ти ИИ;

$\Delta(t)$ — разсъгласуване на скалата на ПО от системното време;

$\tau_k(X) = c^{-1} [(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 + (z - z_k)^2]^{1/2}$ — истинно време на закъснение на сигнала от k -ти ИИ;

c — скорост на светлината;

$\lambda^T = (x, V_x, y, V_y, \Delta, V_\Delta)$ — вектор на състоянието, включващ координатите на ПО и Δ , а също V_x, V_y, V_Δ — скоростите на изменение на x, y и Δ ;

$n(t)$ — бял гаусов шум (БГШ) с характеристики $M\{n(t)\} = 0$ и $M\{n(t)n(t+\tau)\} = (N/2)\delta(\tau)$.

Във вектора на състоянието не се включват координатата z и векторът на скоростта V_z по същата координата. Приемаме, че $z = \text{const}$ и $V_z = 0$. Векторът λ може да бъде описан чрез гаусов дифузионен марковски процес, удовлетворяващ системата стохастически диференциални уравнения

$$(3) \quad \dot{\lambda} = F\lambda + \mathbf{p}_\lambda(t),$$

$$\begin{aligned}
 x &= V_x, \\
 \dot{V}_x &= -\alpha_x V_x + n_x(t), \\
 y &= V_y, \\
 \dot{V}_y &= -\alpha_y V_y + n_y(t), \\
 \Delta &= V_\Delta, \\
 \dot{V}_\Delta &= -\alpha_\Delta V_\Delta + n_\Delta(t).
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Тук $n_x(t)$, $n_y(t)$ и $n_\Delta(t)$ са независими БГШ с едностранни спектрални плътности N_x , N_y и N_Δ .

Матриците на коефициентите на сноса и дифузията са

$$\mathbf{F} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_x & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\alpha_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\alpha_\Delta \end{vmatrix}; \quad \mathbf{N}_\lambda = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & N_x/2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & N_y/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N_\Delta/2 \end{vmatrix};$$

$$n_\lambda^T(t) = [0, n_x(t), 0, n_y(t), 0, n_\Delta(t)];$$

$$M\{n_\lambda(t)n_\lambda^T(t-\tau)\} = N_\lambda \delta(\tau).$$

3. Същност на метода

В дадения случай многопиковостта на АПВ $p(t, \lambda)$ е обусловена от периодичността на носещата на сигналите от ИИ относно времената на закъснение $T_k(\lambda)$ с период $T_0 = 2\pi/\omega_0$.

Въвеждаме вектор от допълнителни променливи за сигналите от трите ИИ

$$\mathbf{T}_d^T = (T_{d1}, T_{d2}, T_{d3}),$$

където T_{d1} , T_{d2} , T_{d3} са времена на закъснение на високочестотните запълнения на сигналите, излъчени от ИИ, т. е. вместо вектор λ ще разглеждаме вектор на състоянието $\lambda_d^T = \{\lambda^T, \mathbf{T}_d^T\}$, при това тяхната тъждественост в изходната задача ще отчетем в априорното разпределение (за $t=0$)

$$P_{pr}(\lambda, \mathbf{T}_d) = P_{pr}(\lambda) \delta[\mathbf{T}_d - \mathbf{T}(\lambda)],$$

където $\mathbf{T}^T(\lambda) = [T_1(\lambda), T_2(\lambda), T_3(\lambda)]$, а също и в уравнението на динамиката

$$\dot{\mathbf{T}}_d = \frac{d\mathbf{T}(\lambda)}{dt} = \frac{\partial \mathbf{T}(\lambda)}{\partial \lambda^T} \frac{\partial \lambda}{\partial t},$$

което осигурява изпълнението на условието $\mathbf{T}_d - \mathbf{T}(\lambda) = \text{const.}$

От (3) и (6) следва

$$(7) \quad \dot{T}_d = \frac{\partial T(\lambda)}{\partial \lambda^T} F \lambda + \frac{\partial T(\lambda)}{\partial \lambda^T} \mathbf{n}_\lambda(t).$$

От физични съображения АПВ

$$P(t, \lambda, T_d) = P\{\lambda(t), T_d(t) | \xi_0^t\}$$

във всеки момент от време трябва да съдържа делта-функция $\delta[T_d - T(\lambda)]$, наличието на която отразява нашето знание за това, че във всеки момент от време е в сила равенството $T_d = T(\lambda)$.

Избираме спомагателна априорна плътност $W_d(\lambda, T_d)$, така че да удовлетворява условието

$$(8) \quad W_d[\lambda, T_d = T(\lambda)] = c P_{pr}(\lambda).$$

При това се оказва вярно съотношението

$$(9) \quad P(t, \lambda, T_d) = c P_d(t, \lambda, T_d) \delta[T_d - T(\lambda)],$$

което се доказва по метода, описан в [3]. В (9) $P_d(t, \lambda, T_d)$ е АПВ за задачата на филтрация с априорна плътност $W_d(\lambda, T_d)$, модел на съобщението (3), (6) и модел на наблюдението (1), (2). В [3] се разглежда разширен вектор на състоянието $\{\tau, \tau_d\}$, където τ е времезакъснение на обвиващата на сигнала от единствен ИИ, а τ_d е времезакъснение на носещата на сигнала от същия ИИ. В процеса на доказателството се преминава към нови променливи $\tau, \varepsilon = \tau_d - \tau$ [3]. В нашия случай за доказване на (9) се процедира по същия метод, но разширеният вектор на състоянието е $\lambda_d = \{\lambda, T_d\}$, където λ и T_d са векторни променливи. Новите променливи, към които се извършва преходът, са λ и $\varepsilon = T_d - T(\lambda)$. От (9) следва основополагащият извод, че за АПВ $P(t, \lambda)$ на изходната задача на филтрация е справедливо съотношението

$$(10) \quad P(t, \lambda) = c P_d[t, \lambda, T(\lambda)].$$

Изходната задача с уравнение на наблюдението (1), (2) и уравнение на съобщението (3), (4) се свежда към нова допълнителна задача. Вместо уравнение (1), (2) записваме ново наблюдение, в което влизат допълнителните променливи T_d :

$$(11) \quad \xi(t) = s(t, \lambda, T_d) + n(t),$$

$$s(t, \lambda, T_d) = \sum_{k=1}^3 f_k[t - T_k(\lambda)] \cos[\omega_0(t - T_{dk})],$$

където $f_k[t - T_k(\lambda)]$ е обвиваща на сигнала от k -ти ИИ.

Уравнението на динамиката в допълнителната задача се явява уравнение (3), (4), допълнено с (6).

За да конкретизираме (6) и (7), трябва да намерим вектора от производните $\partial T_k(\lambda) / \partial \lambda^T$

$$(12) \quad \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial \lambda^T} = \frac{\partial(\tau_k(X) + \Delta)}{\partial \lambda^T} = \frac{\partial \left[\frac{1}{c} \sqrt{(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 + (z-z_k)^2} + \Delta \right]}{\partial \lambda^T};$$

$$\frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial x} = \frac{1}{c} (x-x_k) [(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 + (z-z_k)^2]^{-1/2} = \frac{\cos \alpha_k}{c};$$

$$\frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial y} = -(y-y_k)[(x-x_k)^2 + (y-y_k)^2 + (z-z_k)^2]^{-\frac{1}{2}} = \frac{\cos \beta_k}{c};$$

$$\frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial \Delta} = 1; \quad \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial V_x} = \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial V_y} = \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial V_z} = 0,$$

където $\cos \alpha_k, \cos \beta_k$ са директорни косинуси към направлението на k -ти ИИ

$$(13) \quad \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial \lambda^T} = \left| \frac{\cos \alpha_k}{c}, 0, \frac{\cos \beta_k}{c}, 0, 1, 0 \right|.$$

От (7) получаваме

$$(14) \quad \dot{\mathbf{T}}_d = \mathbf{F}_{Td} \lambda + \mathbf{O}_{(3 \times 1)},$$

където $\mathbf{O}_{(3 \times 1)}$ е вектор-стълб от три елемента;

$$\mathbf{F}_{Td} = \frac{\partial \mathbf{T}(\lambda)}{\partial \lambda^T} \mathbf{F},$$

$$(15) \quad \mathbf{F}_{Td} = \begin{vmatrix} 0 & c^{-1} \cos \alpha_1 & 0 & c^{-1} \cos \beta_1 & 0 & 1 \\ 0 & c^{-1} \cos \alpha_2 & 0 & c^{-1} \cos \beta_2 & 0 & 1 \\ 0 & c^{-1} \cos \alpha_3 & 0 & c^{-1} \cos \beta_3 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

За допълнителната задача уравнението на динамиката има вида

$$(16) \quad \dot{\lambda}_d = \mathbf{F}_d \lambda_d + \mathbf{n}_{\lambda_d}(t),$$

където $\lambda_d^T = \{\lambda^T, \mathbf{T}_d^T\}$, $\mathbf{n}_{\lambda_d}^T(t) = \{\mathbf{n}_{\lambda_d}^T(t), 0, 0, 0\}$.

Матриците на коефициентите на сноса и дифузията са

$$\mathbf{F}_d = \begin{vmatrix} \mathbf{F} & \mathbf{O}_{(6 \times 3)} \\ \mathbf{F}_{Td} & \mathbf{O}_{(3 \times 3)} \end{vmatrix} \quad \mathbf{N}_{\lambda_d} = \begin{vmatrix} \mathbf{N}_{\lambda} & \mathbf{O}_{(6 \times 3)} \\ \mathbf{O}_{(3 \times 6)} & \mathbf{O}_{(3 \times 3)} \end{vmatrix}$$

Уравнението на филтрация на Стратонович приема вида:

$$(17) \quad \frac{\partial P_d(t, \lambda, \mathbf{T}_d)}{\partial t} = L_d \{P_d(t, \lambda, \mathbf{T}_d)\} + [F(t, \lambda, \mathbf{T}_d) - F(t)] P_d(t, \lambda, \mathbf{T}_d)$$

с начално условие $P(0, \lambda, \mathbf{T}_d) = W_d(\lambda, \mathbf{T}_d)$, удовлетворяващо (8).

Операторът на Фокер — Планк — Колмогоров (ФПК) е

$$L_d \{ \cdot \} = - \sum_{i=1}^9 \frac{\partial \{ f_{\lambda_{d_i}}(t, \lambda_{d_i}) \cdot \}}{\partial \lambda_{d_i}} + \frac{1}{4} \sum_{i,j=1}^9 N_{\lambda_{d_{ij}}} \frac{\partial^2 \{ \cdot \}}{\partial \lambda_{d_i} \partial \lambda_{d_j}},$$

където $f_{\lambda_d}(t, \lambda_d) = \mathbf{F}_d \lambda_d$.

$$F(t, \lambda, \mathbf{T}_d) = (2/N) \left\{ \xi(t) s(t, \lambda, \mathbf{T}_d) - \frac{1}{2} s^2(t, \lambda, \mathbf{T}_d) \right\},$$

$$F(t) = \iint F(t, \lambda, \mathbf{T}_d) P_d(t, \lambda, \mathbf{T}_d) d\lambda d\mathbf{T}_d.$$

Поради периодичността на сигнала $s_k(t, \lambda, \mathbf{T}_{dk})$ и на коефициентите на

оператора на ФПК по променливите T_d следва строга периодичност на АПВ, т. е. $P_d(t, \lambda, T_d) = P_d(t, \lambda, T_d + T_0 E^T)$, където $E = [1, 1, 1]$.

Многопиковият характер лесно се отчита и е достатъчно да се опише нормалната плътност на вероятността на една „гърбица“ на $P_d(t, \lambda, T_d)$, а после периодично да се прилага това описание за цялата АПВ.

Използвайки метода на гаусова апроксимация, получаваме

$$(18) \quad P_d(t, \lambda, T_d) = c_1 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp \{ -0,5 [\lambda^T - m_\lambda^T, T_d^T - (m_d^T + kT_0 E)] R^{-1} \times [\lambda^T - m_\lambda^T, T_d^T - (m_d^T + kT_0 E)]^T \}.$$

Уравненията на разширения филтър на Калман имат вида

$$(19) \quad \dot{m}_{\lambda_d} = F_d \lambda_d + R(2/N) [\xi(t) - s(t, m_{\lambda_d})] [\partial s(t, m_{\lambda_d}) / \partial \lambda_d],$$

където $m_{\lambda_d}^T = \{m_\lambda^T, m_d^T\}$;

$$(20) \quad \frac{\partial R}{\partial t} = F_d R + R F_d^T + N_{\lambda_d} - R F_2 R,$$

където

$$R = \begin{bmatrix} R_\lambda & R_{\lambda T_d} \\ R_{T_d \lambda} & R_{T_d} \end{bmatrix}, \quad R_{\lambda T_d} = R_{T_d \lambda}^T,$$

$$F_2 = (2/N) [\partial s(t, m_{\lambda_d}) / \partial \lambda_d^T]^T [\partial s(t, m_{\lambda_d}) / \partial \lambda_d^T].$$

Апроксимацията на АПВ $P(t, \lambda)$ се получава от (18) и (10)

$$(21) \quad P(t, \lambda) = c P_d(t, \lambda, T(\lambda)) = c_1 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp \{ -0,5 [\lambda^T - m_\lambda^T, T^T(\lambda) - (m_d^T + kT_0 E)] R^{-1} [\lambda^T - m_\lambda^T, T^T(\lambda) - (m_d^T + kT_0 E)]^T \}.$$

Ще определим оценката на максимално правдоподобие $\lambda^* = \max_{\lambda}^{-1} \{P(t, \lambda)\}$.

От (21) следва, че $V_x^* = m_{V_x}$, $V_y^* = m_{V_y}$, $V_\Delta^* = m_{V_\Delta}$ и

$$(22) \quad \begin{bmatrix} x^*(t) \\ y^*(t) \\ \Delta^*(t) \end{bmatrix} = \max_{x, y, \Delta}^{-1} \left\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp \left\{ -0,5 [x - m_x, y - m_y, \Delta - m_\Delta, T^T(x, y, \Delta) - (m_d + kT_0 E)] \begin{bmatrix} R_{xx} & R_{xy} & R_{x\Delta} \\ R_{yx} & R_{yy} & R_{y\Delta} \\ R_{\Delta x} & R_{\Delta y} & R_{\Delta\Delta} \end{bmatrix}^{-1} [x - m_x, y - m_y, \Delta - m_\Delta, T^T(x, y, \Delta) - (m_d + kT_0 E)]^T \right\} \right\}.$$

Ако „пиковете“ на АПВ $P(t, \lambda)$ са тесни относно нейната „обвиваща“, то (22) преминава в правилото:

$$(23) \quad \begin{cases} x^*(t) \\ y^*(t) \\ \Delta^*(t) \end{cases} = \max_{x, y, \Delta}^{-1} \{P(t, x, y, \Delta) | T(x, y, \Delta) = m_d + kT_0 E\} \\ \approx \min^{-1} |m_d(t) + kT_0 E^T - T(t, m_x, m_y, m_\Delta)| = m_d(t) + k^* T_0 E^T = T^*,$$

където $k^T = (k_1, k_2, k_3)$; $k^{*T} = (k_1^*, k_2^*, k_3^*)$ е вектор на стойностите на k , при които се достига екстремум; $T^{*T} = [T_1^*, T_2^*, T_3^*]$.

Оттук задачата се свежда до решаване на системата

$$(24) \quad \begin{cases} T_1^* = m_{d1}(t) + k_1^* T_0 = c^{-1} [(x^* - x_1)^2 + (y^* - y_1)^2 + (z - z_1)^2]^{1/2} + \Delta^*, \\ T_2^* = m_{d2}(t) + k_2^* T_0 = c^{-1} [(x^* - x_2)^2 + (y^* - y_2)^2 + (z - z_2)^2]^{1/2} + \Delta^*, \\ T_3^* = m_{d3}(t) + k_3^* T_0 = c^{-1} [(x^* - x_3)^2 + (y^* - y_3)^2 + (z - z_3)^2]^{1/2} + \Delta^*, \end{cases}$$

при което се определят x^* , y^* и Δ^* .

По-удобен алгоритъм е филтрация с групиране на наблюденията при степенчатата апроксимация. При това отчитаме, че сигналът $s_k(t - T_k(\lambda))$ зависи от сравнително бавно изменящи се процеси $X(t)$ и $\Delta(t)$, които за интервала на дискретизация T са приблизително постоянни. Затова с някакво приближение можем да считаме, че на всеки тактов интервал (t_v, t_{v+1}) наблюдението се представя във вида

$$\xi(t) = s(t, \lambda_v) + n(t), \quad t \in (t_v, t_{v+1}),$$

където $\lambda_v = \lambda(t_v)$ е стойността на параметъра в опорните точки $t_v = vT$.

Последователността λ_v удовлетворява рекурентното уравнение

$$(25) \quad \lambda_{v+1} = \Phi \lambda_v + \mathbf{n}_{\lambda_v},$$

където $\Phi = \exp(FT) = L^{-1}\{(pI - F)^{-1}\}$ е преходна матрица на (4) за време T (период на дискретизация); $L^{-1}\{\dots\}$ — обратно преобразуване на Лаплас; p — оператор на Лаплас; \mathbf{n}_{λ_v} — последователност от независими гаусови случайни вектори с математическо очакване $M\{\mathbf{n}_{\lambda_v}\} = 0$ и корелационна матрица

$$\Psi = M\{\mathbf{n}_{\lambda_v}, \mathbf{n}_{\lambda_v}^T\} = \int_0^T \exp\{F(T-\tau)\} N_{\lambda} \exp\{F^T(T-\tau)\} d\tau.$$

За допълнителната задача уравнението на наблюдението придобива вида

$$\xi(t) = s(t, \lambda_{dv}) + n(t), \quad t \in (t_v, t_{v+1}),$$

където $\lambda_{dv}^T = \{\lambda_v^T, T_{dv}^T\}$, $T_{dv} = T_d(t_v)$, $t_v = vT$.

Уравнението на съобщението е

$$(26) \quad \lambda_{d(v+1)} = \Phi_d \lambda_{dv} + \mathbf{n}_{\lambda_{dv}},$$

където $\Phi_d = \exp\{F_d T\} = L^{-1}\{(pI - F_d)^{-1}\}$; $\mathbf{n}_{\lambda_{dv}}$ е последователност от независими гаусови случайни вектори и с математическо очакване $M\{\mathbf{n}_{\lambda_{dv}}\} = 0$ и корелационна матрица

$$\Psi_d = M\{n_{\lambda_d y}, n_{\lambda_d y}^T\} = \int_0^T \exp\{F_d(T-\tau)\} N_{\lambda_d} \exp\{F_d^T(T-\tau)\} d\tau.$$

Приложено към системата априорни уравнения (4), (6) изразите на Φ_d и Ψ_d при $\alpha T \ll 1$ имат вида

$$\Phi_d = \begin{pmatrix} 1 & \Phi_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Phi_{34} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_{44} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Phi_{66} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Phi_{66} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_{72} & 0 & \Phi_{74} & 0 & \Phi_{76} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & \Phi_{82} & 0 & \Phi_{84} & 0 & \Phi_{86} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & \Phi_{92} & 0 & \Phi_{94} & 0 & \Phi_{96} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

където

$$\begin{aligned} \Phi_{12} &= (1 - \exp(-\alpha_x T)) / \alpha_x, & \Phi_{22} &= \exp(-\alpha_x T), \\ \Phi_{34} &= (1 - \exp(-\alpha_y T)) / \alpha_y, & \Phi_{44} &= \exp(-\alpha_y T), \\ \Phi_{66} &= (1 - \exp(-\alpha_\Delta T)) / \alpha_\Delta, & \Phi_{66} &= \exp(-\alpha_\Delta T), \\ \Phi_{72} &= (\cos \alpha_1 / c) \Phi_{12}, & \Phi_{82} &= (\cos \alpha_2 / c) \Phi_{12}, & \Phi_{92} &= (\cos \alpha_3 / c) \Phi_{12}, \\ \Phi_{74} &= (\cos \beta_1 / c) \Phi_{34}, & \Phi_{84} &= (\cos \beta_2 / c) \Phi_{34}, & \Phi_{94} &= (\cos \beta_3 / c) \Phi_{34}, \\ \Phi_{76} &= \Phi_{86} = \Phi_{96} = \Phi_{66}; \end{aligned}$$

$$\Psi_d = \begin{pmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & \Psi_{17} & \Psi_{18} & \Psi_{19} \\ \Psi_{21} & \Psi_{22} & 0 & 0 & 0 & 0 & \Psi_{27} & \Psi_{28} & \Psi_{29} \\ 0 & 0 & \Psi_{33} & \Psi_{34} & 0 & 0 & \Psi_{37} & \Psi_{38} & \Psi_{39} \\ 0 & 0 & \Psi_{43} & \Psi_{44} & 0 & 0 & \Psi_{47} & \Psi_{48} & \Psi_{49} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Psi_{55} & \Psi_{56} & \Psi_{57} & \Psi_{58} & \Psi_{59} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \Psi_{65} & \Psi_{66} & \Psi_{67} & \Psi_{68} & \Psi_{69} \\ \Psi_{71} & \Psi_{72} & \Psi_{73} & \Psi_{74} & \Psi_{75} & \Psi_{76} & \Psi_{77} & \Psi_{78} & \Psi_{79} \\ \Psi_{81} & \Psi_{82} & \Psi_{83} & \Psi_{84} & \Psi_{85} & \Psi_{86} & \Psi_{87} & \Psi_{88} & \Psi_{89} \\ \Psi_{91} & \Psi_{92} & \Psi_{93} & \Psi_{94} & \Psi_{95} & \Psi_{96} & \Psi_{97} & \Psi_{98} & \Psi_{99} \end{pmatrix},$$

където $\Psi_{ij} = \Psi_{ji}$ при $(i, j = \overline{1,9})$,

$$\begin{aligned} \Psi_{11} &= N_x T^3 / 6, & \Psi_{12} &= N_x T^2 / 4, & \Psi_{22} &= N_x T / 2, \\ \Psi_{33} &= N_y T^3 / 6, & \Psi_{34} &= N_y T^2 / 4, & \Psi_{44} &= N_y T / 2, \\ \Psi_{55} &= N_\Delta T^3 / 6, & \Psi_{56} &= N_\Delta T^2 / 4, & \Psi_{66} &= N_\Delta T / 2, \\ \Psi_{1(k+6)} &= (\cos \alpha_k / c) \Psi_{11}, & \Psi_{2(k+6)} &= (\cos \alpha_k / c) \Psi_{12}, & \Psi_{3(k+6)} &= (\cos \beta_k / c) \Psi_{33}, \\ \Psi_{4(k+6)} &= (\cos \beta_k / c) \Psi_{34}, & \Psi_{5(k+6)} &= \Psi_{55}, & \Psi_{6(k+6)} &= \Psi_{56}, \end{aligned}$$

$\Psi_{(k+6)(t+6)^{-1}} (\cos \alpha_k/c) (\cos \alpha_l/c) \Psi_{11} + (\cos \beta_k/c) (\cos \beta_l/c) \Psi_{33} + \Psi_{55}$
 при $(k, l = \overline{1,3})$.

При използване на гаусова апроксимация получаваме

$$(27) \quad P_d(v, \lambda_v, T_d) = c_1 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp \{ -0,5 [\lambda_v^T - \hat{\lambda}_v^T, T_{dv}^T - (\hat{T}_{dv}^T + k_v T_0 E)] \times R_v^{-1} [\lambda_v^T - \hat{\lambda}_v^T, T_{dv}^T - (\hat{T}_{dv}^T + k_v T_0 E)]^T \}.$$

Уравненията на разширения филтър на Калман за вектора на оценките и корелационната матрица R_v са

$$(28) \quad \hat{\lambda}_{d(v+1)} = \tilde{\lambda}_{d(v+1)} + (2/N) R_{v+1} \int_{t_v}^{t_{v+1}} \left[\frac{\partial S(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})}{\partial \lambda_d^T} \right]^T [\xi(t) - s(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})] dt,$$

$$(29) \quad R_{v+1}^{-1} = \tilde{R}_{v+1}^{-1} + (2/N) \int_{t_v}^{t_{v+1}} \left[\frac{\partial S(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})}{\partial \lambda_d^T} \right]^T \left[\frac{\partial S(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})}{\partial \lambda_d^T} \right] dt,$$

където $\tilde{\lambda}_{dv} = \Phi_{dv} \hat{\lambda}_{d(v+1)}$ е вектор на екстраполираните оценки; $\tilde{R}_{v+1} = \Phi_{dv} R_v \Phi_{dv}^T + \Psi_{dv}$ — корелационна матрица на екстраполираните оценки;

$$\tilde{\lambda}_{dv}^T = \{ \hat{\lambda}_v, \hat{T}_{dv} \}; \quad R_v = \begin{vmatrix} R_{\lambda_v} & R_{(\lambda T_d)_v} \\ R_{T_d \lambda_v} & R_{T_d v} \end{vmatrix}; \quad R_{(\lambda T_d)_v} = R_{T_d \lambda_v}^T.$$

Отчитайки, че λ_d е вектор на неенергетични параметри, т. е.

$$\left[\frac{\partial S(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})}{\partial \lambda_d^T} \right]^T s(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)}) dt \approx 0,$$

то (28) приема вида

$$(30) \quad \hat{\lambda}_{d(v+1)} = \tilde{\lambda}_{d(v+1)} + (2/N) R_{v+1} \int_{t_v}^{t_{v+1}} \xi(t) \frac{\partial S(t, \tilde{\lambda}_{d(v+1)})}{\partial \lambda_d^T} dt.$$

Следвайки (27), за апроксимацията на АПВ $P(v, \lambda_v)$ се получава

$$(31) \quad P(v, \lambda_v) = c_1 P_d(v, \lambda_v, T(\lambda_v)) \\ = c_1 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp \{ -0,5 [\lambda_v^T - \hat{\lambda}_v^T, T^T(\lambda_v) - (\hat{T}_{dv}^T + k_v T_0 E)] R_v^{-1} \\ \times [\lambda_v^T - \hat{\lambda}_v^T, T^T(\lambda_v) - (\hat{T}_{dv}^T + k_v T_0 E)]^T \}.$$

Оценката на вектора на състоянието по критерия на максималното правдоподобие е

$$\lambda_v^* = \max_{\lambda_v}^{-1} \{p(v, \lambda_v)\},$$

$$(32) \begin{pmatrix} x_v^* \\ y_v^* \\ \Delta_v^* \end{pmatrix} = \max_{x_v, y_v, \Delta_v}^{-1} \left\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} \exp[-0,5(x_v - \hat{x}_v, y_v - \hat{y}_v, \Delta_v - \hat{\Delta}_v, \mathbf{T}^T(x_v, y_v, \Delta_v) - (\hat{\mathbf{T}}_{dv}^T - kT_0 \mathbf{E})) \begin{pmatrix} R_{xx_v} & R_{xy_v} & R_{x\Delta_v} \\ R_{xy_v} & R_{yy_v} & R_{y\Delta_v} \\ R_{x\Delta_v} & R_{y\Delta_v} & R_{\Delta\Delta_v} \end{pmatrix}^{-1} (x_v - \hat{x}_v, y_v - \hat{y}_v, \Delta_v - \hat{\Delta}_v, \mathbf{T}^T(x_v, y_v, \Delta_v) - (\hat{\mathbf{T}}_{dv}^T - kT_0 \mathbf{E}))^T] \right\}; V_{x_v}^* = \hat{V}_{x_v}; V_{y_v}^* = \hat{V}_{y_v}; V_{\Delta_v}^* = \hat{V}_{\Delta_v}.$$

При тесни „пикове“ на АПВ $P(v, \lambda_v)$ относно нейната „обвиваща“ може да се счита, че

$$(33) \begin{pmatrix} x_v^* \\ y_v^* \\ \Delta_v^* \end{pmatrix} \approx \min_{k_v}^{-1} |\hat{\mathbf{T}}_{dv} + k_v T_0 \mathbf{E}^T - \mathbf{T}(\hat{x}_v, \hat{y}_v, \hat{\Delta}_v)| = \hat{\mathbf{T}}_{dv} + k_v^* T_0 \mathbf{E}^T = \mathbf{T}_v^*,$$

където k_v^* е вектор на стойностите на k , при които се достига екстремум

$\mathbf{T}_v^* = [T_1^*, T_2^*, T_3^*]$ — вектор на коригираните времезадръжки на сигналите от отделните ИИ.

И така задачата се свежда до решаване на системата уравнения, аналогични на (24)

$$(34) \begin{cases} T_{1v}^* = \hat{T}_{d1v} + k_{1v}^* T_0 = c^{-1} [(x_v^* - x_1)^2 + (y_v^* - y_1)^2 + (z - z_1)^2]^{1/2} + \Delta_v^*, \\ T_{2v}^* = \hat{T}_{d2v} + k_{2v}^* T_0 = c^{-1} [(x_v^* - x_2)^2 + (y_v^* - y_2)^2 + (z - z_2)^2]^{1/2} + \Delta_v^*, \\ T_{3v}^* = \hat{T}_{d3v} + k_{3v}^* T_0 = c^{-1} [(x_v^* - x_3)^2 + (y_v^* - y_3)^2 + (z - z_3)^2]^{1/2} + \Delta_v^*, \end{cases}$$

при което се определят x_v^* , y_v^* и Δ_v^* .

При конкретизация на векторното уравнение (30) за модела на параметрите (4) се получава следният рекурентен алгоритъм:

$$\hat{x}_{v+1} = \hat{x}_v + \Phi_{12} \hat{V}_{x_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{1k} B_k,$$

$$\hat{V}_{x_{v+1}} = \Phi_{22} \hat{V}_{x_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{2k} B_k,$$

$$\hat{y}_{v+1} = \hat{y}_v + \Phi_{34} \hat{V}_{y_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{3k} B_k,$$

$$\begin{aligned}
 \widehat{V}_{y_{v+1}} &= \Phi_{44} \widehat{V}_{y_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{4k} B_k, \\
 \widehat{\Delta}_{v+1} &= \widehat{\Delta}_v + \Phi_{55} \widehat{V}_{\Delta_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{5k} B_k, \\
 \widehat{V}_{\Delta_{v+1}} &= \Phi_{66} \widehat{V}_{\Delta_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{6k} B_k, \\
 \widehat{T}_{d1(v+1)} &= \widehat{T}_{d1v} + \Phi_{72} \widehat{V}_{x_v} + \Phi_{74} \widehat{V}_{y_v} + \Phi_{76} \widehat{V}_{\Delta_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{7k} B_k, \\
 \widehat{T}_{d2(v+1)} &= \widehat{T}_{d2v} + \Phi_{82} \widehat{V}_{x_v} + \Phi_{84} \widehat{V}_{y_v} + \Phi_{86} \widehat{V}_{\Delta_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{8k} B_k, \\
 \widehat{T}_{d3(v+1)} &= \widehat{T}_{d3v} + \Phi_{92} \widehat{V}_{x_v} + \Phi_{94} \widehat{V}_{y_v} + \Phi_{96} \widehat{V}_{\Delta_v} + \sum_{k=1}^3 \Gamma_{9k} B_k,
 \end{aligned}
 \tag{35}$$

където

$$\Gamma_{jk} = (2/N) \left(R_{j1} \frac{\cos \alpha_k}{c} + R_{j3} \frac{\cos \beta_k}{c} + R_{j5} + R_{j7} \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial T_{d1}} + R_{j8} \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial T_{d2}} + R_{j9} \frac{\partial T_k(\lambda)}{\partial T_{d3}} \right) \Big|_{\lambda_d = \widetilde{\lambda}_d},$$

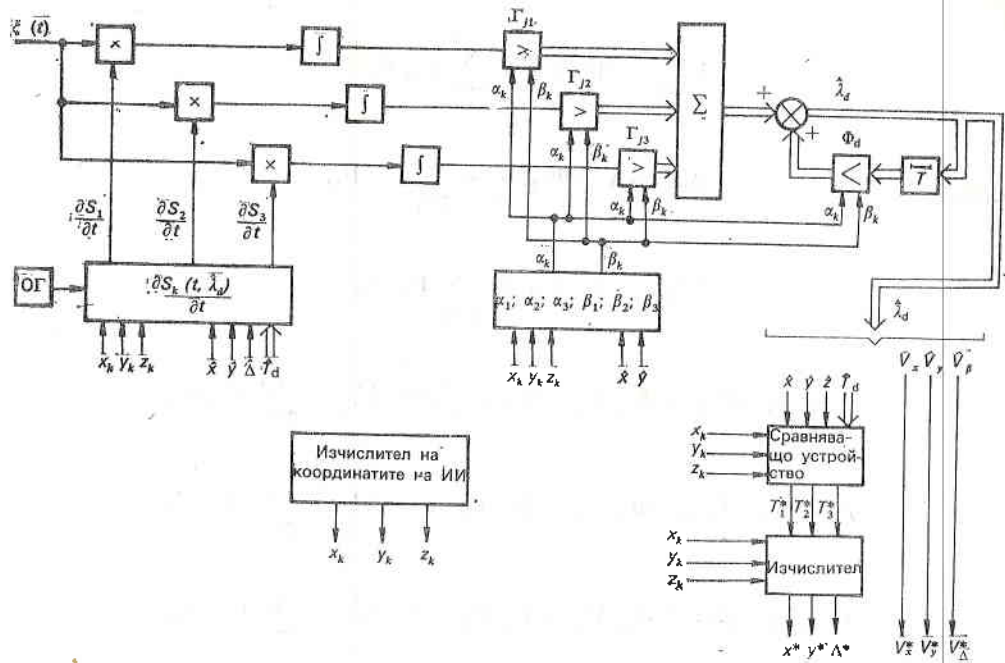
$$j = \overline{1,9}, \quad k = \overline{1,3},$$

$$B_k = - \int_{t_v}^{t_{v+1}} \xi(t) \frac{\partial S_k(t, \widetilde{\lambda}_d)}{\partial t} dt = Bc_k + Bu_k = \sum_{l=1}^3 Bc_{kl} + Bu_{kl},$$

$$Bc_{kl} = - \int_{t_v}^{t_{v+1}} s_l(t, \lambda_d) \frac{\partial S_k(t, \widetilde{\lambda}_d)}{\partial t} dt; \quad Bu_{kl} = - \int_{t_v}^{t_{v+1}} n(t) \frac{\partial S_k(t, \widetilde{\lambda}_d)}{\partial t} dt.$$

Ако пренебрегнем при умножението под интеграла членовете, съдържащи честота $2\omega_0$, изразите за Bc_{kl} , Bu_{kl} придобиват вида

$$\begin{aligned}
 Bc_{kl} = 0,5 \int_{t_v}^{t_{v+1}} \left\{ \omega_0 f_k [t - T_k(\widetilde{\lambda})] f_l [t - T_l(\lambda)] \sin [\omega_0 (\widetilde{T}_{dk} - T_{dl})] \right. \\
 \left. - f_l [t - T_l(\lambda)] \frac{\partial f_k [t - T_k(\widetilde{\lambda})]}{\partial t} \cos [\omega_0 (\widetilde{T}_{dk} - T_{dl})] \right\} dt,
 \end{aligned}$$



Фиг. 1. Структурна схема на дискретен филтър

$$\begin{aligned}
 \text{Вш}_k = & \int_{t_v}^{t_{v+1}} n(t) \left\{ \omega_0 f_k [t - T_k(\tilde{\lambda})] \sin [\omega_0 (t - \tilde{T}_{dk})] \right. \\
 & \left. - \frac{\partial f_k [t - T_k(\tilde{\lambda})]}{\partial t} \cos [\omega_0 (t - \tilde{T}_{dk})] \right\} dt.
 \end{aligned}$$

Структурната схема на алгоритъм (35), (33), (34) е показана на фиг. 1. Приемникът се състои от три времеви дискриминатора и канали за формиране на оценките на параметрите λ_v . Всеки канал за оценка на параметър се състои от три умножителя Γ_{j1} , Γ_{j2} и Γ_{j3} , суматор и нискочестотен филтър, формиращ съответната оценка. От изхода на нискочестотните филтри оценките \hat{x} , \hat{y} , $\hat{\Delta}$, \hat{T}_{d1} , \hat{T}_{d2} и \hat{T}_{d3} постъпват на входа на сравняващо устройство, което сравнява времезакъсненията на обвиващата и носещата на сигнала от всеки ИИ и формира оценки T_1^* , T_2^* , T_3^* по правилото $\min_k |\hat{T}_{dv} + k_v T_0 E^T - T(\hat{x}_v, \hat{y}_v, \hat{\Delta}_v)|$ = $\hat{T}_{dv} + k_v^* T_0 E^T = T_v^*$. В изчислителя се извършва решаването на система уравнения (34) и се извеждат крайните оценки x^* , y^* , Δ^* . По резултати от оценките на параметрите се формират ъгли α_k , β_k , които се използват при изчисление на Γ_{jk} , производната на сигнала $\partial s_k(t, \tilde{\lambda}_d)/\partial t$ и коефициентите Φ_{72} , Φ_{82} , Φ_{02} , Φ_{74} , Φ_{84} , Φ_{04} на преходната матрица Φ_d .

В приемника се осъществява оценка на времевото разсъгласуване $\hat{\Delta}(t)$, която след това се използва за филтрация на координатите $x(t)$, $y(t)$. Това напълно съответства на концепцията на псевдодалекомерния метод на навигация.

Литература

1. Кондратьев, В. С., А. Ф. Котов, Л. Н. Марков. Многопозиционные радиотехнические системы (Под ред. проф. В. В. Цветанова). М., Радио и связь, 1986. 264 с.
2. Тихонов, В. И., В. Н. Харисов. Объединенная синхронизация в радиотехнических системах. — Радиотехника, 1984, № 4.
3. Харисов, В. Н. Нелинейная фильтрация при многомодальном аностернорном распределении. — Техническая кибернетика, 1985, № 5.
4. Харисов, В. Н., А. И. Яковлев, А. Г. Глушченко. Оптимальная фильтрация координат подвижного объекта. — Радиотехника и электроника, 1984, № 10.
5. Тихонов, В. И., В. Н. Харисов. Объединенная синхронизация в оптимальных радиотехнических системах. Радиоэлектроника. — В: Научные труды высших учебных заведений Литовской ССР, 1983.
6. Харисов, В. Н. Синтез и исследование характеристик объединенной системы синхронизации методом разделения задержек. — В: Тез докл. ВНТК „Проблемы повышения эффективности и качества систем синхронизации.“ Каунас, 1982.
7. Тихонов, В. И., В. Н. Харисов. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. Учеб. пособие для вузов. М., Радио и связь, 1991. 608 с.

Поступила на 30.11.1993 г.

The additional variable method in the problem of spatial coordinates and parameters of motion filtration of mobile objects

Ventseslav Rashkov, Angel Christov

(Summary)

An algorithm is developed for optimum signal processing with multiplex synchronization for multi-position radiotechnical navigation systems (MRNS) and satellite radiotechnical navigation (SRNS). Statistical methods are used for optimum filtration, as well as the additional variable method (AVM) and data concerning the radiosignals envelope and phase. Using MGNS high accuracy is obtained when the mobile objects determine their spatial coordinates and parameters of motion. The results are contained in the two synthesized variants of continuous and discrete filters.

Перспективи на развитието и използването на системи за спътникови съобщения и разпръскване в България

Цанко Цанев

Комитет по пощи и далекосъобщения, София

Изследванията по въвеждането на спътникови системи за телекомуникационни цели в България започват преди повече от 20 години. Днес българското корабоплаване интензивно използва спътниковата система „Инмарсат“, чрез която се осъществяват телефонни и телеграфни канали от корабите до земните станции и обратно. Телевизията приема и предава програми по широколентов спътников канал от и за други страни, свързани с международната организация Европейски съюз по радиоразпръскване (ЕВУ), на който България е член от 1992 г. Използва се спътников каналът „Евро-телсат“, за който бе изградена спътникова станция през 1993 г.

По настоящем ние притежаваме земна станция с 4 транспондера (2 за телефонен и 2 за телевизионен сигнал), които се използват ефективно. Чрез наемане на канали от системата „Интелсат“ се осъществяват презокеански телефонни и телеграфни връзки. Българската телекомуникационна компания осъществява разширение на международното телефонно обслужване чрез спътникова станция, свързваща страната с Холандия.

При изграждането или организирането на наети съобщителни системи у нас въз основа на комуникационни спътници се отчиташе, че в зависимост от натоварването за целите на телефонията икономически изгодни са каналите, покриващи най-малко 400 до 1500 км разстояние [1]. Очевидно е, че при трасета, по-дълги от минималните разстояния, ефективността ще расте и възстановяването на капиталовложенията ще се ускори.

През следващите години се очаква рязко да нарасне търсенето и предлагането на съобщителни услуги у нас както по количество, така и по видове. Сегашното състояние на националната съобщителна система и извършващата се подготовка за реализация на земна станция от системата „Интелсат“ са предпоставка за задоволяване на основните пужди. Отчитайки прогнозите за бъдещо нарастване на трафика, се преценява, че потребностите на бързо развиващия се бизнес могат да се удовлетворят чрез въвеждането на нова международна автоматична телефонна централа, която заедно със земната

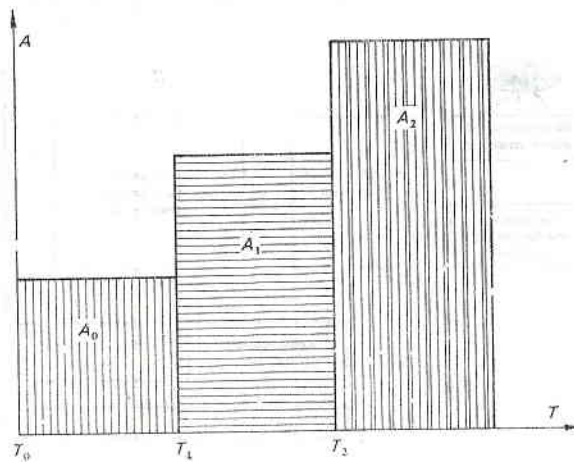
Таблица 1

№	Краен междуна- роден кому- никационен център	Брой канали	
		земно трассе	сътников участък
1	Вашингтон	1×1	1×12
2	Мадрид	1×12	1×12
3	Париж	2×12	2×12
4	Лондон	2×12	2×12
5	Копенхаген	4×1	8×1
		65 канала	80 канала

станция за системата „Интелсат“ да осигурят междуконтиненталните и западноевропейските връзки. Предвижда се чрез станцията да се установят надеждни канали с атлантическия регион, където са основните страни — обект на интерес за изграждане на връзка. Очакваните потребности [5] са основание да започнат контакти с интересуващите ни страни (табл. 1) за планиране на връзките с тях.

Дадената заявка от потребителите на услуги на „Интелсат“ след утвърждаване ще позволи нормален достъп към включените страни, но лимитираща може да се окаже задръжката в развитието на пропускателната способност на междуселищната телефонна система в страната ни. На фиг. 1 е показано изменението на пропускателната възможност в зависимост от типа на въведените подсистеми, където A_1 е пропускателна възможност на междуселищна телефонна система, A_2 — пропускателна възможност на международна автоматична телефонна централа, A_0 , T_0 — изходно състояние на международни връзки, T_1 — развитие с настъп съобщителни канали, T_2 — въвеждане на собствена станция „Интелсат“ със съответна комутационна част в международна АТЦ.

В определени периоди от време в дадени обслужвани зони възникват затруднения за достъп до международни връзки. За преодоляване на такива ситуации развитието на обслужването може да се насочи към временни съобщителни системи, удовлетворяващи локалните потребности на икономичес-



Фиг. 1

ки активните зони от телекомуникационни услуги [6]. Осъществявани като едно бързо изпълнимо и врсменно решение, тези системи ще позволяват вътрешна комуникация, връзки с националната съобщителна система и директни връзки със задгранични партньори без ограниченията на междуселищната и международната пропускателна способност в момента. Спътниковите връзки с другите страни ще се реализират по-бързо и надеждно и ако това компенсира по-високата цена на услугите, то при създаващата се в страната обстановка такива системи ще бъдат едно налагащо се решение.

Функционалните връзки в локалните съобщителни системи могат да имат вида, показан на фиг. 2, където 1 е малогабаритна земна станция, 2 — комутационна част (може да е в състава на абонатната централа), 3 — обслужваща абонатна телефонна централа, 4 — връзки с националната съобщителна система (телефония, предаване данни и т. п.), 5 — връзки за захранване на отдалечени обекти, 6 — малоканални радиорелейни линии за захранване на отдалечени обекти, 7 — международни телекомуникационни връзки, 8 — оптични цифрови системи. Българската телекомуникационна компания въвежда такова решение за обслужване на бизнес-абонатите за София с разширение в страната.

В зависимост от разположението на потребителите се формират две групи. Едната включва непосредствено разположените потребители, които могат да ползват системата с директно включване, а втората — отдалечено разположените потребители, които получават връзките си чрез радиорелейни линии, пряко обслужващи или явяващи се съединителни за местните АТЦ.

Планираното развитие на националната междуселищна телефонна мрежа може да доведе до отпадане на необходимостта от осигуряване на международното телекомуникационно обслужване със собствени земни станции за спътникови връзки. При анализа на икономическата ефективност на предлаганото решение е необходимо да се отчете времето, за което то ще бъде използвано. В зависимост от това се получава и връзка със себестойността на услугите. Може да се очаква една значително по-висока себестойност, а оттам и по-висока тарифа на този вид услуги [6]. Поради това те са приложими за задоволяване на потребностите на фирмите и за обслужване на икономически зони у нас с активен телекомуникационен трафик.

В телевизионното разпръскване също могат да се ползват ускорени решения, обезпечаващи многопрограмност със спътникова система за подава-



Фиг. 2

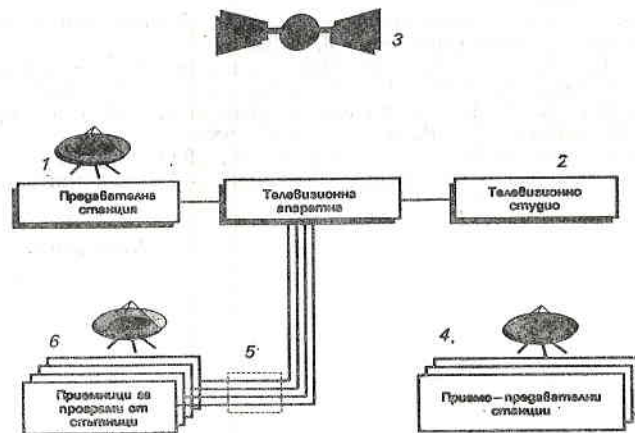
не програми до местни излъчватели, необхванати в земна разпределителна преносна система. На фиг. 3 се предлага едно такова решение, където 1 е предавателна станция, 2 — телевизионно студио, 3 — спътников прерадавател, 4 — присмо-предавателни локални комплекси, 5 — програми за прерадаване, 6 — приемни устройства за програми, излъчвани от спътници. То би способствало за преобразуване на досегашните локални излъчватели за предаване програмата на Централната руска телевизия в централно управляема мрежа на страната [2], тъй като сега всеки от изградените комплекти приема само сигнала от спътника и по същество представляват продължение на руската телевизионна мрежа на българска територия.

Очевидно такова решение може да се реализира с нает спътников канал, но се нуждае от технико-икономическа обосновка. В процеса на развитие на системата ще се използва канал на 11 GHz, където в съответствие с плана от 1988 г. на Международната радиоконференция страната ни има заделени пет честотни канала с необходимите защитни отношения. Тъй като е предвиден лъч на антенната система, обслужващ само нашата страна, то няма да е трудно да се добие достатъчно ниво на сигнала за приемане с колективни и индивидуални антенни устройства [3].

Развитие ще се получи и при системи за предаване на данни, като организирането на информационна спътникова система не е технически проблем, а на доказване на конкретната икономическа ефективност.

В близките години подвижната спътникова служба у нас трябва да се преоцени в зависимост от състоянието на трафика и икономическата състоятелност на изграждане на земна станция в система „Инмарсат“. Това ще облекчи значително обслужването на корабоплаването, а заедно с това създава предпоставки за осигуряване на авиацията в бъдеще с телекомуникационно обслужване.

Поради развитието на идеите за глобално обслужване с подвижни спътникови служби бе актуализиран честотният ресурс от Световна радиоконференция през 1992 г. [3]. В качеството на континентално решение може да се приеме системата M-sat2, обслужваща няколко стотици хиляди потребители в Северна Америка. „Инмарсат-3“ предвижда да се обхванат морските, въздушните и сухоземните транспортни служби чрез използване на тесни лъчи на антенните диаграми. Очакваното развитие на втора глобална система, предложена от „Моторола“ с нисколетящи спътници, бе раз-



Фиг. 3

гледано като честотен ресурс през 1992 г. и се явява един благоприятен изход в затруднената комуникация.

Спътниковите съобщения и разпръскването представляват обширна и бързоразвиваща се област на телекомуникациите в страната. Въпреки конкуренцията с влакнестооптичните системи те са незаменими за момента. Новите системи за информационно обслужване на зоните със значителен телекомуникационен трафик, мрежите с пакетна комуникация за предаване на данни и подвижните спътникови служби могат да тласнат развитието на икономиката, като степента на участие на спътниковите системи не само ще се съхрани, а значително ще нараства. Обхватът на мобилните средства, използващи спътниковите системи, ще расте, навлизайки в жп транспорта, товарния автотранспорт и др.

Около 140 страни ползват услугите на спътниковите комуникационни системи, като повече от 20 страни имат свои национални спътникови телекомуникационни и разпръсквателни системи. По-нататъшните перспективи за глобализация на системите в световен и европейски мащаб сега се разглеждат като една реална възможност.

Промениите в икономическата активност в страната налагат националната съобщителна система да отчита телекомуникационните нужди и да развива пропорционално всички елементи от международен до абонатен план. При успешно развитие до 1995 г. трябва да се реализира земната станция „Интелсат“ за междуконтиненталните връзки в Атлантическия регион. Дотогава трябва да се търсят решения с доразвитие на системите на станцията „Интерспътник“.

За обслужване на икономически активните зони ще е полезно сдружаване с водещи компании, за да се реализират системи за локално обслужване, осигуряващи необходимата пропускателна способност на междуселищната мрежа. Това ще бъде възможно след изменение на Закона за съобщенията и отпадане на монопола в тях.

Литература

1. Локтев, А. А., В. М. Цирлип. Некоторые аспекты разработки новых зарубежных систем спутниковых связей. — Радиосвязь, радиовещание, телевидение, 1987, вып. 1.
2. Локшин, Б. А. Спутниковая связь и вещание. Достижения и перспективы. — Зарубежная радиоэлектроника, 8, 1990.
3. Зайцев, Д. Л., Л. Я. Кантор. Перспективная система спутникового телевизионного вещания СТВ 12. — Средства связи, 1988, № 1.
4. Кантор, Л. Я., В. В. Тимофеев. Спутниковая связь и проблема геостационарной орбиты. М., Радио и связь, 1988.
5. Intelsat feasibility study of Bulgarian earth station, 1990. Intelsat C.
6. Salamon, J. New earth for business services. — Telecommunication, 20, 1986, No 6.

Постъпила на 8. V. 1991 г.

Satellite systems for communications
and emission in Bulgaria. Futures
of development and usage

Tsanko Tsanev

(S u m m a r y)

This article presents a review of the potentialities of satellite telecommunication technologies for the solution of communication and TV-emission problems on the territory of Bulgaria. Several configurations have been proposed for the mobile communication systems architecture.

Система за сбор и визуализация на телеметрични данни

*Виктор Маринов, Тинка Грозданова,
Орлин Цветков*

Институт за космически изследвания, БАН

При проектирането на научна апаратура за космически изследвания основно изискване се явява наличието на контролно-измервателна апаратура (КИА), с помощта на която да може да се извършва проверка на работоспособността на научната апаратура и да се контролират приемането и отработването на командите, получавани от борда на космическия апарат по време на наземните автономни и комплексни изпитания.

В процеса на създаването на КИА за прибора „Детектор на електрически полета“ (ДЭП-2Е), работещ в състава на комплекса научна апаратура на борда на станция от типа автоматична универсална орбитална станция (АУОС), бе разработена система за сбор и визуализация на телеметрични данни (ССВД).

В състава ѝ са включени:

- персонален микрокомпютър;
- дискетно устройство;
- дисплей;
- контролер;
- програмно осигуряване.

Програмите, поддържащи работата на ССВД, са написани на асемблерен език за микропроцесор 6502 с цел по-голямо бързодействие и гъвкавост. При разработката на програмното осигуряване не се използват обръщения към подпрограми на монитора, а бяха създадени собствени подпрограми, например за изчистване на екрана, за изобразяване на данните, за изписване на номера на приемащия телеметричен кадър и т. н.

Станциите от типа АУОС са оборудвани с две телеметрични системи, предаващи данните от комплекса научна апаратура. Първата телеметрична система е радиотелеметрична (РТС), наричана още щатна телеметрична система, която работи с осемразряден формат на данните. Всеки телеметричен кадър съдържа 256 телеметрични канала, разпределени на четири локални комутатора по 64 канала. Втората телеметрична система е за техническо обезпечаване на основния апарат (СТО), работеща с последователен формат на данните — например сигнала DATA INPUT (DIN) на фиг. 1.

Основните задачи, решавани от ССВД, са:

1. Изработване на синхроимпулсите на локалния комутатор (СИЛК) и тактовите импулси (CLOCK), необходими за работата на блоковете за предаване на данните от тествания прибор. Това се извършва в процеса на автономните изпитания, а при комплексни изпитания синхроимпулсите към прибора и към ССВД постъпват от борда на космическия апарат;

2. Запис на приетите данни в буфер от паметта на компютъра;

3. Визуализация на постъпващите данни от избран телеметричен канал едновременно със запис им в паметта на компютъра;

4. Запис на данните върху дискета при необходимост от по-нататъшна обработка и анализ;

5. Транслиране на приеманите данни по сериен интерфейс RS 232 към други устройства: модем, персонален компютър и др.;

6. Визуализиране на данни от предишни записи.

Предвидени са два основни варианта на работа на ССВД. Първият от тях е в режим на автономни изпитания. В този случай синхроимпулсите на телеметричните системи и признаците за работа на записващото устройство се имитират от ССВД и се контролира тяхното преминаване през изпитвания прибор.

Във втория случай приборът е свързан в състава на обекта и е възможно единствено да се контролира работата му.

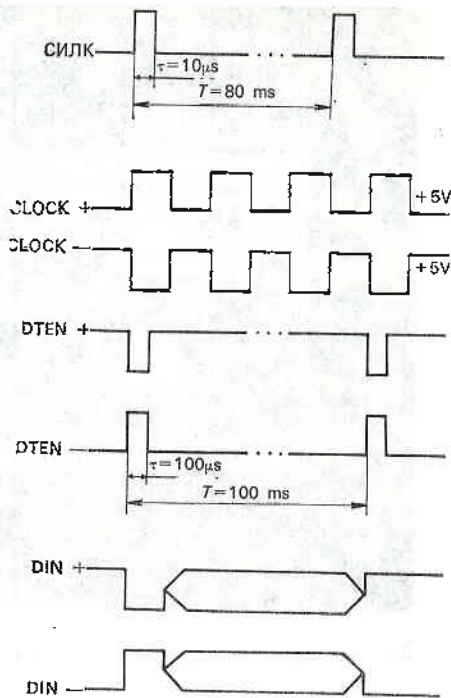
На скрана на дисплея се наблюдава следната информация: приеманите данни в аналогов или цифров вид, номер на телеметричния кадър, приеман в момента, избраната скорост на работа на записващото устройство и информация за наблюдавания канал.

Контролерът е монтиран в един от слотовете на персоналния микрокомпютър. Неговият външен вид е показан на фиг. 2. Приципната електрическа схема на контролера е дадена в [5]. Той е предназначен за връзка между компютъра и изпитвания прибор и е съставен от следните блокове:

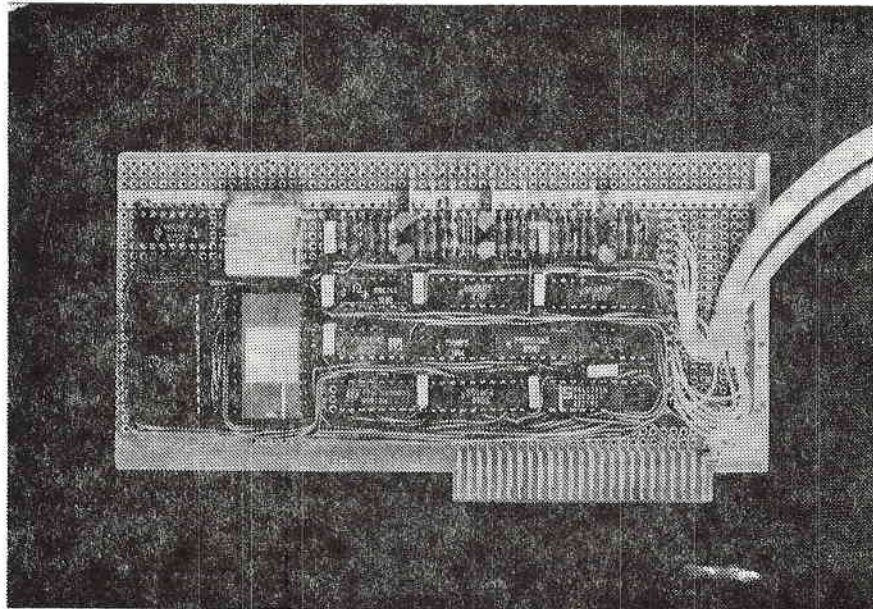
- адресен дешифратор;
- програмируем таймерен модул;
- асинхронен сериен интерфейс адаптор (ACIA);
- блок за формиране на входно-изходни сигнали.

Адресният дешифратор разпределя адресното пространство от Сх00 до СхFF, където х е номерът на слота, в който е поставен контролерът. Регистрите на програмируемия таймерен модул 8253 се адресират от Сх00 до Сх06.

Програмируемият таймерен модул работи с двете телеметрични системи РТС и СТО. При работа с РТС той формира синхроимпулсите СИЛК и вре-



Фиг. 1. Форма на сигналите



Фиг. 2. Външен вид на контролера

мената на прочитане на данните, постъпващи към РТС. Времето T за стробирание на дадения канал се определя по формулата

$$T(n) = (n + 0,5) \frac{1}{F},$$

където n е номерът на канала, F — честотата на синхроимпулсите, която в зависимост от скоростта на запис на записващото устройство на РТС е:

$F = 100$ Hz при ЗАП-1,

$F = 12,5$ Hz при ЗАП-2,

$F = 3,125$ Hz при ЗАП-3.

При работа със СТО таймерът изработва сигнал за разрешение на предаването на данни (DTEN), а също така изработва и СИЛК.

Предназначението на асинхронния серийен интерфейсен адаптор (АСІА) 6850 е да приеме данните за СТО, а при автономни изпитания освен това приборът получава от него управляващи байтове. Регистрите на АСІА са адресирани като $Sx10$ и $Sx11$.

Блокът за формиране на входните и изходните сигнали формира входни и изходни сигнали. Тяхната форма е показана на фиг. 1.

Адресната шина и шината данни на компютъра са буферирани с помощта на ИС 555A115 и 74LS245.

Разпределението на адресното пространство и адресите на входно-изходните устройства на контролера на ССВД е показано на табл. 1 и табл. 2. От тях се вижда, че е осигурен обем памет в размер на 16 килобайта за буфер за данни. В него се записват данните от дванадесет ТМ-канала на първи локален комутатор от РТС и 30 байта на всеки кадър по СТО, предназначени за прибора ДЭП-2Б. Номерата им са от 132 до 140 и от 155 до 157. Времето за запълване на буфера в различните режими е показано в табл. 3. След запълването на буфера се извършва запис на данните върху дискета, от която те могат да бъдат възпроизвеждани, обработвани и анализирани. Предвидена

Таблица 1

Разпределение на адресното пространство

MONITOR	\$FFFF
BASIC интерпретатор	\$F800
Адреси на входни/изходни устройства	\$D000
DOS	\$C000
Програма	\$9600
Буфер за данни (16 К)	\$8000
Графична страница	\$4000
	\$2000

Таблица 3

Време за запълване на буфера

ТМ		Време
РТС	ЗАП-2	1'49''
	ЗАП-3	7'17''
СТО		55''

Таблица 2

Разпределение на адресното пространство за някои входни/изходни устройства

Входно/изходно устройство	Адреси
Програмируем таймерен модул Регистър за данни Регистър управляващ	\$Cx00—\$Cx02 \$Cx04—\$Cx06 \$Cx03
Асинхронен сериен адаптор Регистър за данни Регистър управляващ	\$Cx11 \$Cx10
Регистър данни от РТС	\$Cx08
Регистър състояние на РТС (ЗАП, номер на наблюдавания канал)	\$Cx0C
Управление на работата на СТО Разрешение Забрана	\$Cx14 \$Cx18

е възможност при желание на експериментатора този етап да бъде игнориран и приеманите данни да се визуализират непрекъснато върху скрана на дисплея.

ССВД може по програмен път да бъде конфигурирана за работа с произволен брой телеметрични канали ($n_{\max} = 256$) и при необходимост позволява работа с разширение на оперативната памет на компютъра.

Описаната в статията система за сбор и визуализация на телеметрични данни е разработена и изработена в ИКИ-БАН. Тази система намери приложение в състава на КИА към прибор ДЭП-2Е, който от 18. XII. 1991 г. функционира на околоземна орбита на борда на АУОС-3-АП-ИК. В процеса на настройката, автономните и комплексните изпитания на летателните образци на прибор ДЭП-2Е тя показва висока надеждност и удобство при работа.

Литература

1. Техническое задание на прибор ДЭП-2-Е для измерения электрических полей (проект АПЭКС), 1989 г.
2. Программа проведения научных экспериментов проекта АПЭКС на КА АУОС-3-АП-ИК, 1991 г.
3. Техническое руководство для экспериментаторов по использованию системы ОДС-СТО для технического обеспечения комплекса научной аппаратуры на станции АУОС, Будапешт, 1985 г.
4. Основные технические характеристики автоматической универсальной орбитальной станции АУОС и технические требования устанавливаемой на ней научной аппаратуры, АН СССР, ИНТЕРКОСМОС, 1982 г.
5. Альбом схем прибора ДЭП-2Е и КИА, ИКИ—БАН, 1991 г.

Поступила на 15. VII. 1992 г.

Telemetric data acquisition and visualisation system

Victor Marinov, Tinka Grozdanova, Orlin Tsoetkov

(S u m m a r y)

Herewith is described a data gathering and visualization system for processing of telemetric pre-flight test data of equipment for research experiments, mounted on orbital stations type АUОS (Automatic Universal Orbital Station). The system is developed in the Space Research Institute — BAS and is integrated in the Control Test Equipment of DEP-2E electric field detector, operating on board the АUОS-G-AP-IC in Earth orbit. The system is used for tuning, autonomous and complex tests of DEP-2E flight equipment.

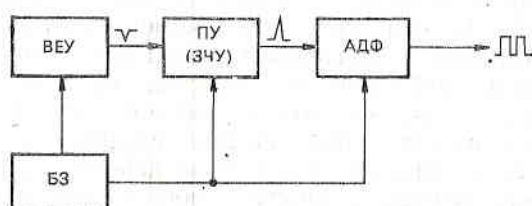
Спектриметричен предусилвател за физически експерименти

Меди Аструкова

Институт за космически изследвания, БАН

Изследването на характеристиките на потоци частици или фотони с ниски енергии се свежда до измерване на средния ток или регистриране на броя на импулсите от изхода на вторични електронни умножители (ВЕУ). В литературата тези устройства са описани в много модификации и представляват датчици за измерване на заредени частици в космическата плазма [1,4]. У всички обаче сигналът, който се сема на изхода, т. е. на анода на ВЕУ, е твърде слаб. Средната стойност на заряда в импулса $Q_{\text{ср}}$ е от порядъка на $10^{-14} \div 10^{-11}$ С, респ. на минималния аноден ток $I_a = 10^{-14} \div 10^{-12}$ А. Това налага предварително усилване и формиране на сигнала с цел по-нататъшна цифрова обработка — отброяване, запомняне и пр.

На фиг. 1 е представена блокова схема на устройство за регистриране, усилване и формиране на сигнали, породени от заредени частици в космическата плазма. Устройството включва: ВЕУ — датчик, който в зависимост от модификацията може да бъде канален електронен умножител с неговите разновидности или микроканална пластина; ПУ — предусилвател, който в зависимост от използвания ВЕУ, полярността на захранването му и поставените при измерването задачи може да бъде усилвател на ток, усилвател на напрежение, импулсен усилвател или зарядочувствителен усилвател (ЗЧУ). В нашия случай използваме ЗЧУ, който според литературни данни [1] е най-подходящ при ВЕУ с честота на регистрираните импулси F в границите



Фиг. 1. Блокова схема на устройството

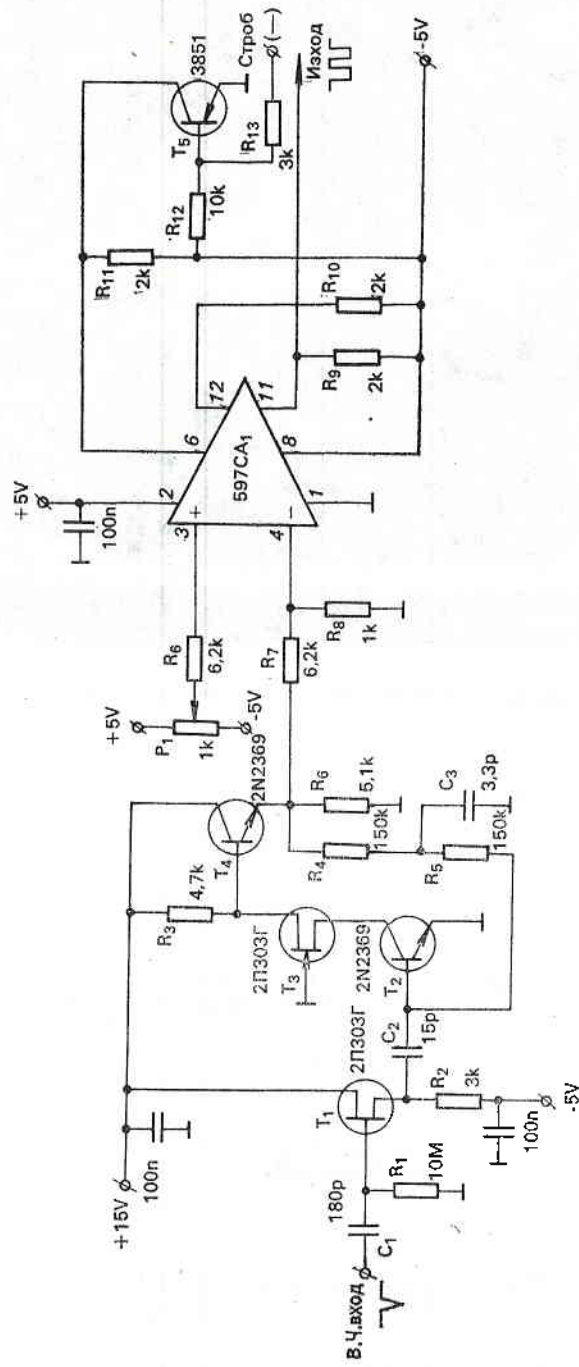
от 100 kHz до 10 MHz; АДФ — амплитуден дискриминатор формирова- тел; БЗ — блок захранване.

Оригинално схемотехнично решение представлява принципната схема на зарядочувствителния усилвател и амплитудния дискриминатор формиро- вател (фиг. 2). Целта при проектирането и избора на схема е постигането на високо бързодействие и добра чувствителност. Това естествено произтича от формата и параметрите на сигнала от изхода на ВЕУ. Според [1] изход- ните сигнали имат формата, показана на фиг. 3. Това е осцилограма, снета при работа на ВЕУ в режим на насищане и захранващо напрежение $U_3 = 3,2$ kV. Параметрите на сигнала са: t_1 — фронт на импулса — $0,1 \div 10$ ns, t_2 — ширина на импулса — $0,15 \div 30$ ns, f_{max} — честота на импулса — 10 kHz — 100 MHz, и амплитуда $A = 30$ mV. Вижда се, че фронтът на им- пулса е достатъчно стръмен, ширината му е малка, така че усилвателят и дискриминаторът трябва да бъдат бързи и с малко закъснение, за да може да се осъществят усилване и формиране на всеки сигнал, породен от постъпва- нето на заредена частица на входа на ВЕУ.

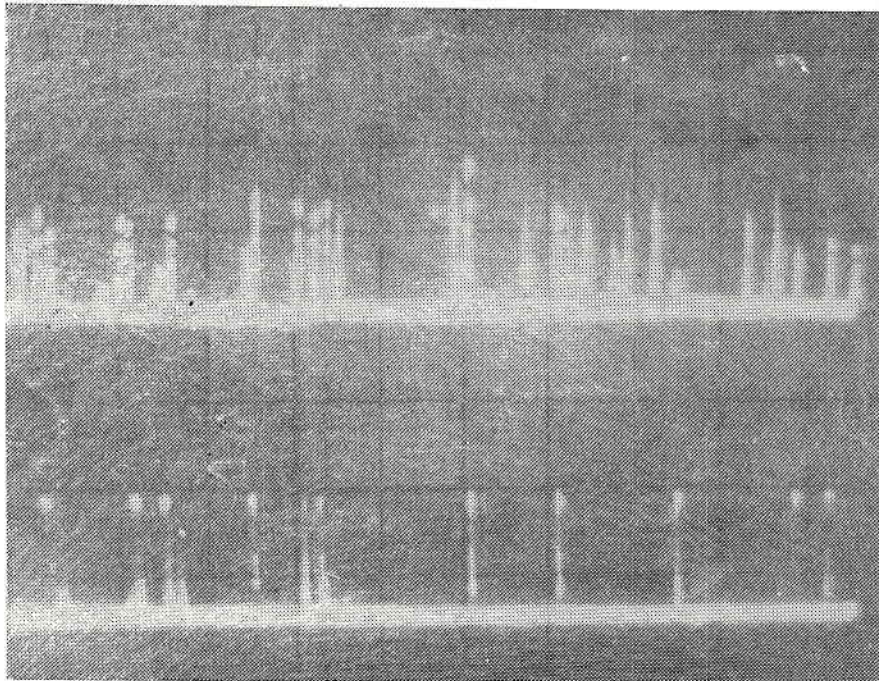
Зарядочувствителният усилвател е проектиран от дискретни елементи. Понеже зарядът на импулса, както беше споменато, е приблизително $Q = 10^{-14}$ C, то прагът на чувствителност на усилвателя трябва да бъде поне 10^{-14} C. Но това съответства на нивото на шума на съвременните транзи- стори и микросхеми. Подходящо е използването на нискошумящи полени транзистори като първо стъпало на усилвателя. В нашия случай е избран 2ПЗОЗГ (T_1 на фиг. 2). Притежава ниско ниво на собствени шумове (средно- квадратичният му шумов заряд е $Q_{cp} = 0,6 \cdot 10^{-16}$ C, при напрежение дрейн- сорс $U_{D_3} = 10$ V). Той е свързан като истоков повторител и осигурява добро съгласуване между голямото изходно съпротивление на ВЕУ и входното съ- противление на основното усилвателно стъпало. Последното е една каскадна схема на високочестотен транзистор $T_2 = 2N2369$ с динамичен товар — $T_3 = 2ПЗОЗГ$, който е с малък проходен капацитет $C_{пр} = 2$ pF. Така проектирано, основното усилвателно стъпало избягва страничните ефекти при високи час- тоти, дължащи се на собствените капацитети на преходите на транзистора, например намаляване на усилването при високи честоти (ефект на Милер), дължащо се на капацитета $C_{св}$, ограничаване скоростта на изменение на сигнала и пр. Така че в последна сметка ЗЧУ дава един стръмен преден фронт на усиления сигнал при честоти $f_c > 10$ MHz. Коефициентът на усилване може да бъде $K_{ус} = 40$ при стойности на обратната връзка $R_4 = 6,8$ k Ω , $R_5 = 6,8$ k Ω , $C_3 = 47$ pF и $K_{ус} = 10$ при $R_4 = R_5 = 150$ k Ω , $C_3 = 3,3$ pF. Съответно стойностите на C_2 са 510 pF и 15 pF.

В известен интервал от време след преминаване на основния импулс на анода на ВЕУ могат да се появят послеимпулси. Например при КЕУ после- импулсите са след $\tau \approx 100$ ns, а при магнитния ВЕУ — бавните са след не- колкостотин ns, бързите след 20 ns. За отброяване само на действителните импулси, както и за формирането им във вид, удобен за цифрова обработка, спомага амплитудният дискриминатор-формировател. Използван е интеграл- ен компаратор (597СА1, фиг. 2). С потенциометъра P_1 се регулира нивото на сработване на компаратора. Съпровожданият послеимпулс е с амплитуда, по-голяма от нивото на сработване, и се отрязва. Сигналът на изхода на АДФ е със закъснение $t_{зак} = 3$ ns. Амплитудата му е $U = 1$ V, т. е. нивото на сиг- нала е съвместимо с входното ниво на ЭСЛ цифрова логика.

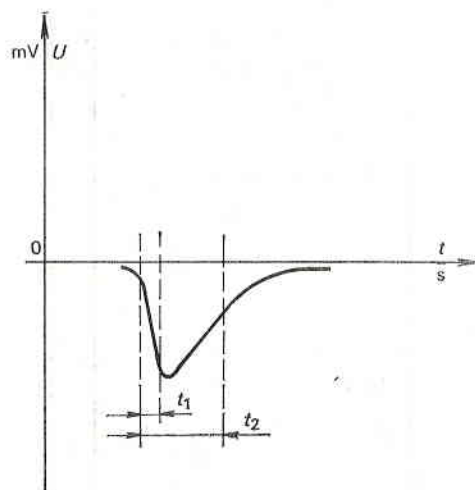
Устройството се отличава с високо бързодействие, ниско ниво на соб- ствени шумове, добра температурна стабилност и просто схемотехнично ре- шение. То е изпитано във вакуумна лабораторна установка с обем $V = 0,25$ m³ и пределен вакуум $P_a = 5 \cdot 10^{-7}$ Torr с вакуумен агрегат, състоящ се от



Фиг. 2. Принципа на електрическа схема



Фиг. 3. Форма на електрическия сигнал на изхода на КЕУ



Фиг. 4. Осцилограма на регистрираните частици с помощта на описаното устройство

магниторазрядна помпа тип IGP-500 и пластинчато-роторна форвакуумна помпа тип 2 DS 15. Изпитанията са проведени при работен вакуум $P_{\text{раб}} \approx 2 \cdot 10^{-6}$ Torr. Като източник на енергетични йони бе използван класически тип йонен източник на остатъчен газ с ударна йонизация и изходен ток

$I=10^{-12}$ А. Энергията на йоните се мени чрез опорно напрежение в обхвата $E_i=100 \text{ eV}+2 \text{ keV}$.

На фиг. 4 е представена осцилограмата на регистрираните частици. Вакуумната лабораторна установка е изработена и се експлоатира в ИКИ-БАН, където бяха проведени и изпитанията.

Описаният бърз усилвател за активни космически експерименти е разработен във връзка с експеримент „КСАНИ“ (критична скорост на аномална йонизация) по проект АКТИВЕН, програма „ИНТЕРКОСМОС“.

Литература

1. Айнбунд, М. Р., Б. В. Поленов. Вторично-електронни умножители откритого типа и их приложение. М., Энергоиздат, 1981.
2. Хоровиц, П., У. Хилл. Искусство схемотехники. М., Мир, 1983.
3. Аструкова, М. Усилвателен и формирователен тракт за сигнали, получени от КЕМ. — Доклади БАН, 35, 1982, № 3.
4. Айнбунд, М. Р., В. Г. Коваленко, Б. В. Поленов. Характеристики канальных електронних умножителей с растробом на входе. УДК 621.385.831.

Постъпила на 21. VI. 1991 г.

Spectrometric pre-amplifier for physical experiments

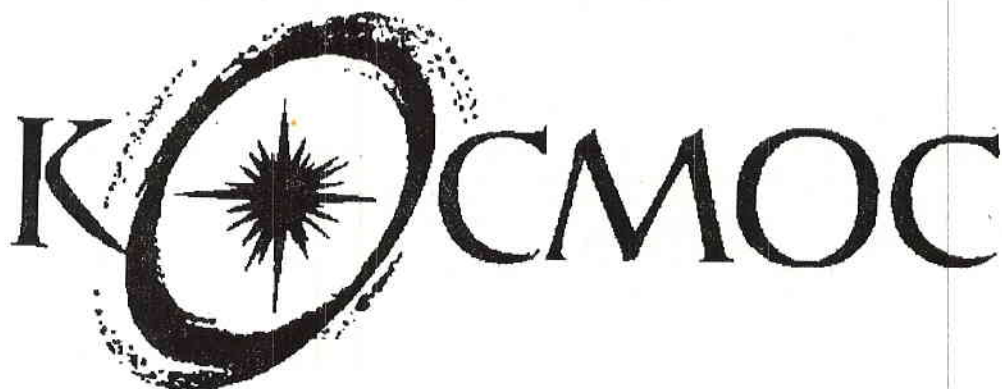
Medy Astrukova

(S u m m a r y)

The scheme of a device for receiving, amplification and formation of fast electrical signals engendered by space plasma charged particles is presented. High speed of action, low inner noise-level, good temperature stability and simple scheme configuration have been achieved. There are shown the device's block scheme, the principal electrical scheme, the graphics of the electrical signal at CEM's (channel electronic multiplier) output and the registered particles oscillogram.

Списание „Космос“ ще Ви запознае със смели хипотези и мнения на учени за спорни въпроси в науката, от които се раждат големите открития, със съвременни технологии, с фантастични идеи, с непознати кътчета от нашата планета, с живота, бита и културата на хора, за чието съществуване не сте и подозирали.

КОСМОС

The logo for the magazine 'КОСМОС' is prominently displayed. The word is written in a bold, black, serif font. The letter 'О' is significantly larger and more stylized than the other letters. Inside the 'О', there is a detailed compass rose with eight points, each ending in a small circle. The 'О' has a textured, hand-drawn appearance with some speckling around its edges.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

The *Aerospace Research in Bulgaria* series publishes original articles in the theoretical or applied fields of the space and aviation science and practice.

Submission:

The articles should be submitted in duplicate in Bulgarian, Russian or English language. The Bulgarian authors should also supply a Bulgarian version for verification of the translation.

• Manuscripts (including the tables and references) should not exceed 15 standard pages (30 lines per page, 60 strokes per line) typed on white non-transparent paper in standard office format (210x295).

• Each article should be accompanied with a summary (up to 30 lines).

Conditions:

The articles should not be published, neither submitted for publication elsewhere. All manuscripts are subject to editorial review.

Arrangement:

• **Title page.** The first page of each article should indicate the title, the authors' names and the Institute where the work was conducted.

• **Tables and illustrations.** Tables and captions to illustrations should be submitted on separate sheets. The proper place of each figure in the text should be indicated in the left margin of the corresponding page. All illustrations (photos, graphs and diagrams) should be referred to as "figures" and given in abbreviation "Fig." The author's name, the number of the figure with indication of its proper orientation (top, bottom) should be slightly marked on the back on each figure. All illustrations should be submitted in duplicate too.

• **References.** They should be indicated in the text by giving the corresponding number in parentheses. The references should be typed on a separate sheet, arranged chronologically by numbers figuring in the text. The name of the first author should be given with inversion. The title of the article is followed by that of the journal (collection), volume, year of publication, issue number and the pages cited. The titles of the monographs should be followed by the city, publisher, year of publication and the cited page. Example:

1. Bulard, E., I. Cooper. The determination of the masses necessary to produce a given gravitational field. — Proc. Royal Soc. London, 194, 1948, 332-347.
2. Yanovskaya, T., L. Porokhova. Inverse Geophysical Problems. Leningrad, Leningr. Univ. Publ., 1983.

• **Further details:** Units of measurement should be used only according to SI.

• Authors have to accomplish one proof-reading within a specified by the publishers term. Only type-setting errors are subject to correction.

ing address:

Address. The authors may submit articles in person or send them to the follow-

Editorial Board of
Aerospace Research in Bulgaria,
Institute for Space Research,
Bulgarian Academy of Sciences,
6 Moscovska Str., Sofia 1000 Bulgaria

УКАЗАНИЯ ЗА АВТОРИТЕ

В тематичната поредица „Аерокосмически изследвания в България“ се печатат оригинални научни статии от областта на космическата и авиационната наука и практика.

Условия: Статиите трябва да бъдат представени в 2 екземпляра на български, руски или английски език. Българските автори трябва да представят и превод на статията.

- Обемът на статията (включително таблиците и литературата) не трябва да превишава 15 стандартни машинописни страници (30 реда на страница, 60 удара на ред) с формат 210×295.

- Всяка статия трябва да бъде придружена от резюме (до 1 стандартна страница) на български и на един западен език.

- Материали, приети за печат или публикувани в други издания, не се приемат.

Подреждане:

- На първата страница на всяка статия трябва да бъдат написани заглавието, имената на авторите и адресът на местоработата.

- **Т а б л и ц и и и л ю с т р а ц и и.** Таблиците и текстът към илюстрациите трябва да се представят на отделни страници. Мястото им в текста да се посочи в полето на съответната страница. На гърба на илюстрациите (фотоси, чертежи, графики и др.) с молив да се напишат заглавието на статията, имената на авторите, номерът на фигурата и да се укаже ориентацията.

- **Л и т е р а т у р а.** Цитираната литература се представя на отделен лист по номерация, появяваща се хронологично в текста. Името на първия автор се дава с инверсия. Следват заглавието на статията, заглавието на списанието (сборника), том, година, книжка, страница, а при монографиите — град, издателство, година, страница.

Пример:

1. Кръстанов, Л., К. Серафимов. — Списание на БАН, XX, 1974, № 2, с. 29.
2. Несторов, Г. Физика на ниската йоносфера. С., БАН, 1969, с. 63.

Други изисквания:

Мерните единици задължително да бъдат по СИ.

- Авторите преглеждат една коректура в определения срок. Допускат се само поправки на грешки, направени при набора.

Адрес. Авторите могат да представят лично материалите си или да ги изпратят на адрес:

София 1000
ул. „Московска“ № 6
Институт за космически изследвания — БАН
Редакционна колегия на „Аерокосмически изследвания в България“

Цена 20 лв.