

## **Какво става с “Галилео”?**

*Посвещавам на невероятните учени и преподаватели по радиоелектроника от предшестващите години на катедра “Радиотехника” - ТУ Варна  
В памет на акад. Димитър Мишев – наш учител в неописуемото техническо тайнство на телевизията, ръководител на Централната лаборатория за космически изследвания, един от създателите на телевизията в България и проф. Васил Халачев – наш учител в дебрите на теоретичната радиоелектроника, създател на катедрите по съобщителна техника в ТУ София и ТУ Варна.*

*С възхищение от нашите учители по разпространение на радиовълните, фидерни линии и антенна техника проф. Ервин Фердинандов, доайен на оптичните комуникации в България и проф. Христо Христов, известен в света с конкретно разработени нови антени заедно с индийски учен, проф. и консултант в Техническия университет “Федерико Санта Мария” – Валпарайсо, Чили.*

Времето днес е на огромните информационни масиви, на тяхната обработка и извличане на важна информация за нашия ежедневен бит и професионален живот. Пространствените данни направиха революция в последните години – автоматизация на определяне на места, географски информационни системи, оптимизация на маршрути, а отгук спестяване на горива и по-малки замърсявания, повишена ефикасност на търговски дейности чрез пълно познаване на място на стоките във всеки момент, определяне на граници, повишаване на безопасността на транспорта във всичките му видове, но особено на морския и въздушния, точно определяне на навигационно-пътевата обстановка по вътрешните водни пътища, създаване на възможност за изключително точно време, което може да се използва за синхронизация в огромните географски разпределени компютърни мрежи и какво ли още не! И всичко това благодарение на сателитните системи за навигация.

През 2020 г. напълно функционална ще бъде “Бейду” (Компас). Китайската система за позициониране, навигация и точно време вече е представена в различни органи на Международната морска организация и се обсъжда. А Европейската “Галилео”?

В тази статия е направен опит да се продължи запознаването с “Галилео”. Авторът на настоящата работа и “Морски вестник” създадоха и публикуваха

във вестника (хартиено издание) обширна техническа статия през 2006 г. със заглавие “GALILEO – Европейска система за глобална сателитна навигация”. В статията бяха описани в подробности необходимостта от системата, общите принципи на работа, принципите в детайли, услугите на системата, тогава предвижданите срокове за изграждане и въвеждане в действие, предвижданите възможности на системата и потенциалните потребители. От този подробен материал тук ще се припомнят само услугите, като въведение в по-нататъшното изложение. **Безплатни услуги – Open Service (OS)**. Те ще позволяват определяне на мястото и времето, както това се прави в другите Глобални сателитни навигационни системи. При ГАЛИЛЕО показателите са сравними и по-добри. **Комерсиални услуги – Commercial Service (CS)**. Макар и да не могат да се използват свободно, а срещу заплащане – на такса или по друг начин, услугите са проектирани амбициозно, с твърде сериозни възможности, което вероятно ще развие много голям пазар. **Обществени услуги с регулация – Public Regulated Service (PRS)**. Това са услуги за важни държавни и обществени служби като полиция, митници и други. Информацията е криптирана. **Дейности за опазване на човешкия живот (Safety of Life – SoL) и за търсене и спасяване – (Search and Rescue – SAR)**.

Този вид дейности много често се разглеждат заедно, макар че всяка си има дефинициите, регулациите и особеностите, когато се прилага, като първата е с много по-широк обхват. ГАЛИЛЕО, в своите документи, дава ясно определение за това, какъв се очаква да бъде приносът на системата. Спътниковият сегмент е в основата на всяка подобна система. С еднакви принципи като останалите, а именно разчитаща на времето (определяно с уникални и най-добри от всички досегашни системи часовници) за което електромагнитната вълна се разпространява до или от даден обект от или до друг такъв и на скоростта на това разпространение за определяне на пътя (“пътят” във физикален смисъл – съществува не само изминатото разстояние, но и път на вълната – подробно обяснено в цитираната статия) и оттам – на мястото на обекта, системата “Галилео” направи първото си успешно определяне на позицията на обект в пространството (самолет) през ноември 2013 г. Това стана с помощта на първите четири функционални спътника от системата, които са на орбита.

Но преди тях бяха експерименталните спътници GIOVE-A и GIOVE-B. Първият беше изстрелян през 2005, а вторият – през 2008 г. И за двата може да се намери информация в спомената статия. Впоследствие, на 21 октомври 2011 и на 12 октомври 2012, бяха изстреляни и успешно “наместени” на орбита първите четири спътника със задача да докажат възможността за изпълнение на задачите на програмата (и системата) “Галилео”, както в Космоса, така и на Земята и затова носят името “Валидация на орбита” (In-Orbit Validation (IOV)).

По план следват спътниците от фазата “Първоначална оперативна функционалност” (Initial Operational Capability (IOC) с обезпечаване на услугите Open Service, Search & Rescue, Public Regulated Service, и разбира се, наземната инфраструктура, която и до този момент е добре развита. А след това трябва цялата система постепенно да се допълни и доизгради до фазата “Пълна оперативна функционалност” (Full Operational Capability (FOC), като спътниците (или сателитите – както предпочитате, защото в нашата техническа литература не се отдава предпочитание, поне засега) трябва да достигнат 30 (27 оперативни в три орбити с наклон 56 градуса спрямо екватора и 3 резервни – по един на всяка орбита) и да се предлагат всички услуги. Няма разлика (по известната досега информация) между спътниците от тези фази. Дори в последно време по-рядко се говори за IOC именно поради липса на особена разлика.

В момента състоянието е следното: Изграждат се и се тестват 22 сателита, които ще имат задачата да осигурят пълната функционалност (разбира се, ще последват и останалите). В момента (3 януари 2014) са тестовите или те вече са преминали от сателитите “Дореса”, “Милена”, “Адам” и “Анастасия” – съответно 1-ви, 2-ри, 3-ти и 4-ти сателит от първата група, които се подготвят за извеждане на орбита. На 27.11.2013 ESA (European Space Agency) съобщи, че първият от тези спътници е преминал съвсем успешно най-важният и труден тест, което е важно не само за него, а и за цялата система. Това е термичният тест в изключително неблагоприятни условия, създадени в “термична вакумна стая”, с тестващ софтуер, написан така, че да симулира най-трудните ситуации и условия.

В такава ситуация, спътникът (и апаратурата в него) се подлагат на екстремални топлинни и студови натоварвания, които са съвсем подобни на реалните космически величини. Другият критичен тест преди изстрелването,

което е предвидено да стане със “Съюз СТ-Б” или с “Ариана 5” от космодрума във Френска Гвиана, е механичният. Разбира се, тук най-големият проблем са ускоренията, на които е подложен сателитът и апаратурата в него. Този тест е преминал съвсем успешно не само от “Дореса”, но и от “Милена”. Преди да се опише един друг тест, може би е полезно да се запознаем с тестовите съоръжения. Тестът за “топлина” и “студ” се прави в заворена тръба от неръждаема стомана с диаметър 4,5 м, в която е създаден дълбок вакуум. В нея има инсталирана кутия, наречена “термична завеса”. Термичната завеса се подлага на топлинно въздействие, за да имитира слънчевата радиация, както и на охлаждане с течен азот, за да се имитира космическият студ при липса на слънчево греене. Точно тръбата и кутията са това, което се нарича “термична вакумна стая” – тя има име – “Феникс”.

Преди тези тестове са т.н. “акустични тестове”. Сателитите се подлагат на тест със звук, който се оценява на 140.7 dB – това е същото ниво, което се създава на 25 m от мястото на изстрелването на ракетата-носител. Този шум се създава от четири рупора, инсталирани на едната стена на стая с размери 11x9 m, която е висока 16.4 m. Звукът се генерира като се пропуска с голяма скорост азот (газ) през рупорите – те са във форма на рог. Някои данни могат да покажат внушителността на този тест – първоначално се създава поток от течен азот 3.5 – 4 kg/s. След това азотът се изпарява, за да премине в газобразно състояние, след което се пропуска през рупорите, за да бъде създаден невъобразимият тестов шум. За целта се използват около 18.5 тона течен азот. Вибрациите по време на този тест се измерват с акселерометри, инсталирани вътре в сателита.

Задължително се провежда и един друг тест, който не е последният по ред, но е от критична важност – този за електромагнитна съвместимост. Дори и всички други тестове да са успешни, този е в сърцето на възможността за работа и без доказателство за тази съвместимост нищо не е направено. Има много основания и физически причини за това, като тук ще споменем най-важната, но и най-очевидната. В ограниченото пространство на сателита трябва да се инсталират и да работят съвместно и без интерференции много излъчващи устройства (антени) и същевременно тези излъчватели да не попречат на работата на изключително чувствителните приемници (може би след часовниците това са най-сложните устройства на борда). Малък списък

на антените и техните функции може да даде представа за сложността на задачата: Антена от L-банда. Тя е основна и предава и приема навигационни сигнали (тук са най-важните сигнали, с които се решават задачите за определяне на място) в този банд; Антена, специално работеща също в режим на предаване и приемане и служеща за сигналите за търсене и спасяване (работи съвместно с COSPAS SARSAT – подробности в цитираната статия на автора и “Морски вестник”); Изключително важната приемна антена в С-банда. Тя приема сигналите за синхронизация на бордовите часовници с референтното време, получавано от специален референтен часовник, базиран на земята, а също и данните за интегритет (виж цитираната статия), които дават сведение за това, колко добре работи всеки спътник в съзвездие. Последната информация се добавя и в навигационните сигнали, излъчвани към приемниците на потребителите. Две антени от S-банда, които също работят в приемен и предавателен режим. Те предават и приемат сигнали, носещи данни за телеметрията, наместването и задържането на орбита и в правилна ориентация, както и тези от системата на различни команди за управление и перманентна диагностика и на спътника, и на апаратурата. Важна функция е и приемането и предаването на сигналите за измерване на височината на спътника, която трябва да се поддържа с точност от няколко метра.

Тези антени могат да бъдат използвани и за приемане (всъщност това са сигналите “нагоре” – в професионалната литература по радиоелектроника и комуникации наричани “uplink” или в по-старата литература, особено по сателитни комуникации – “uplink feeder”) на навигационните сигнали, ако апаратурата и антената от С-банда е извън строя за определено време. Малко обяснения за посочените бандове<sup>[1]</sup>. Посоченият тест се изпълнява в специално оборудвана лаборатория (често такива лаборатории се наричат “фарадееви кафези”).

В конкретния случай обаче тази стая (или камера) се нарича “Максуелова тестова камера” и постановката е следната: Стените са екранирани с дебели метални екрани с т.н. радио-абсорбиращи (радио)безшумни материали. След като е изолиран по този начин и е имитирана реална космическа обстановка, апаратурата на сателита се включва и се прави пълна проверка дали има някакви интерференции и дали системите могат да работят едновременно без да си пречат взаимно.

А сега нека разгледаме малко по-подробно тестването с определяне на позицията (и не само) на самолет, споменатото по-горе, според наличната информация от ESA. Макар и в това издание да се интересуваме основно от морските дела, споменатият тест е от изключителна важност за всички приложения на Европейската глобална навигационна сателитна система (Global Navigation Satellite System (GNSS)<sup>[2]</sup> “Galileo”. Обикновено, както и при GPS, BeiDOU, а и допълнителните системи за подобряване на параметрите като EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service), както и другите налични GNSS, тестовете със самолет са от първостепенна важност.

Това е така, защото се решават много повече задачи и има възможност да се създадат много по-неблагоприятни условия за тест в сравнение с останалите приложения на GNSS (тук изключваме геодезическите приложения с определяне например на граници с изключително висока точност или използване на системата като източник на много точно и стабилно време, които са съвсем специални приложения и за тях се прилагат и допълнителни методики за тестове). Какви тестове са били направени ще се разгледа в следващите редове в реално описание. На 12 ноември, 2013 г. бяха извършени тестове със самолета-ветеран в подобни дейности Fairchild Metro-II. Тестовете са извършени с два приемника, от същата тестова серия, която се използва в момента на земята. Антената, към която са свързани тези приемници е за три честоти, монтирана на корпуса на самолета в горната му част (съобразена с правилата за инсталация на самолети) и готова за работа в система “Галилео”. Чрез приемниците са определени позицията на самолета и точността на позицията, скоростта, времето, времето до първото определяне (фиксиране), отношението “сигнал/шум”<sup>[3]</sup>.; обхвата на грешките (в каква степен се допускат грешки и колко големи са те)<sup>[4]</sup> – както и как варира този обхват (диференциал от функцията на обхвата).

Всичко това е изпълнено при различни маневри на подвижния обект – излитане, кацане, полет направо и с постоянна скорост, полет без промяна на височини (без изкачване и снижаване), полет с промяна на височини, полет с наклон на крилата спрямо хоризонталната равнина до 60 градуса, приближаване до писта, рязка промяна от състояние на приближаване към писта за кацане в състояние на започване на ново изкачване, както и от изкачване към започване за снижаване. Освен това тестовете са изпълнявани

и при следните условия – вибрации, скорост до 456 km/h, ускорения във вертикална посока до 0,5 – 1,5 g и в хоризонтална посока до 2 g, Тестовите са обхванали двете основни услуги, а именно Open Service (OS) и Public Regulated Service (PRS).

Малка представа за маршрута на самолета може да се получи от приложената скица. Той е заключен между Амстердам на северозапад, Бреда на югозапад, Тилбур в средата на втория кръгов маршрут, броено отдолу нагоре и Айдохвен на юг.



По предварителен план първите 18 сателита трябва да се подготвят до края на 2014 година, а всичките 30 – до 2020 г. Това обаче е доста амбициозно и не сме сигурни дали ще е възможно. Поне за първите – по-скоро не. Във всеки случай засега е ясно, че има подготвени мерки за изстрелване през 2014 г. на 5 сателита от описваните дотук. В предния абзац бе накратко описано успешното фиксиране (определяне на позицията, включително височината, и времето, в което са валидни тези данни) на обект в пространството над земната повърхност само със средствата на “Галилео”, което бе реализирано през ноември 2013 г.

А още на 12 март, 2013 бе направен подобен напълно успешен опит с обект върху повърхността на Земята, като бе постигнат резултат с точност 10 m, което е изключително добро постижение при работа само с 4-те налични

сателита на орбита. И двата резултата от успешните тестове са постигнати със съзвездието от 4-те сателита на орбита от етапа “IOV”. От дадена точка то е видимо за около 2 до 3 часа и затова функционалността и непрекъснатостта във времето ще се осигурява и от останалите сателити, които ще бъдат изведени на орбита.

Във времето от 12 март, 2013 г. до ноември, 2013 бяха направени огромно количество съвсем успешни опити за определяне на място и за определяне на грешки. В случая по фаза “IOV” програмата се изпълнява само от ESA и се съфинансира от ESA и Европейската общност. Фазата “FOC” (виж по-горе) се управлява и финансира напълно от Европейската комисия (ЕК). ЕК и ESA имат договор, според който ESA е агент, който от името на ЕК обявява и управлява обществените поръчки по програма “Galileo” (“Галилео”) и отговаря за проектирането и изпълнението на програмата и системата. Наземният сегмент е една огромна област и може би в следваща статия ще бъде разгледан и той.

**Очакват ни нови интересни и по-мощни технически решения. Помощни означава с по-голям обхват (например в полярните области, където сега другите системи все още имат големи грешки без специални решения), с повече услуги, с повече потребителски приложения, с най-новите достъпни технологии. И всичко това в основната му форма (Open Service) бесплатно, а въз основа на него - развитие на огромно число от приложения с най-добро и високо качество. За по-добра навигация, за по-голяма безопасност, но не трябва да се пренебрегват и възможностите за приложения за подобряване на сигурността. Специално за морските дейности - една глобална навигационна сателитна система, която има специализирани услуги за безопасност на море и търсене и спасяване, при това съвместно с доказалата ефективността си COSPAS SARSAT. А и много предизвикателства пред тези, които търсят поле и за иновации, и за изследвания, и за нови приложения в бизнеса.**

---

<sup>1</sup> L-band – 1-2 GHz; C-band – 2-4 GHz; S-band – 4-8 GHz; долната граница се изключва, а горната се включва по конвенция при разглеждането и дефинирането на тези бандове (ленти, диапазони)



---

<sup>2</sup> GNSS е общоприетото терминологично название на всички системи за глобална сателитна навигация (идеята е те да работят общо и взаимозаменяемо и оттук “система”, а не “системи” в названието на английски език, възприето официално от Международната морска организация, от Международната организация за гражданско въздухоплаване и от други официални агенции на ООН).

<sup>3</sup> Този параметър е от изключителна важност и показва обобщено условията за приемане (като се включват и тези от чувствителността и вътрешните шумове на приемниците, усилването и шумовата температура на антената, космическите и др. шумове, както разбира се и полезните сигнали)

<sup>4</sup> Много често определян в едно толерансно поле (множество от стойности), което може да се представи и в графичен или табличен вид, т.е. представлява вид математическа функция.

Източници:

1. <http://www.esa.int/ESA>
2. <http://ec.europa.eu>
3. Димитров, Стефан и “Морски вестник” (2006). GALILEO – Европейска система за глобална сателитна навигация, Варна, ИК “Морски свят”
4. Димитров, Стефан и други (2007). GMDSS за вахтени помощник-капитани, Варна, ИК “Зограф”
5. <http://docs.imo.org> (NAV 59-20 - Report To The Maritime Safety Committee (Secretariat))
6. [http://ec.europa.eu/transport/modes/air/international\\_aviation/european\\_community\\_icao](http://ec.europa.eu/transport/modes/air/international_aviation/european_community_icao)

Инж. Стефан ДИМИТРОВ

3. 01. 2014 г.

Варна