

ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕ НА ГЛОБАЛНО ПОЗИЦИОНИРАНЕ В ЖЕЛЕЗОПЪТНАТА ОСИГУРИТЕЛНА ТЕХНИКА

Неделчо Неделчев

nedelchev@vtu.bg

*Висше Транспортно Училище „Тодор Каблешков”, ул. Гео Милев 158, 1574 София
БЪЛГАРИЯ*

Резюме: *Целта на настоящата работа е да се формулират проблемните въпроси, решаването на които ще позволи спътниковото позициониране да навлезе в железопътната осигурителна техника.*

Това че глобалните позициониращи системи от второ поколение са факт не отменя необходимостта железопътната общност да формулира претенциите си към техните характеристики.. Глобалните системи не са непроменима даденост. Техните оператори периодично заменят изстрелваните спътници с нови, чиито качества могат да се насочват към решаването на нови общественозначими задачи. На базата на съществуващите GNSS са развити, основно за сметка на диференциална корекция, множество допълнени системи. Нужна е база (набор от параметри и техните стойности), по която да се установява удовлетворяват ли съответните GNSS устройства железопътните изисквания. Тази база би била критерий за достатъчност и когато спътниковите позициониращи устройства се допълват от други навигационни средства.

За достигане на изискванията на железниците са възможни различни подходи, които са разгледани в доклада. В основата на всички стои натрупването на по-вече и различни навигационни средства.

Ключови думи: *GPS, ГЛОНАСС, GALILEO, железопътна осигурителна техника, надеждност, безопасност*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Днес най-естественият начин за определяне на месторазположение е да се използват възможностите на глобалните позициониращи системи – американската GPS и руската ГЛОНАСС. Предстои стартирането и на трета система – европейската GALILEO. Услугата е безплатна, анонимна, непрекъсната и е достатъчно подвижният обект да бъде снабден с навигационен приемник. Приемниците се произвеждат масово от много производители и цената им е съвсем достъпна.

От тези големи възможности се ползват много човешки дейности, предно място сред които заема транспорта. Не прави изключение и железопътния транспорт. Чрез GPS приемници и

подходяща комуникация се проследяват влакове и товари. Спътникова навигация се използва за контролиране на основни параметри на железния път. Навлизането на тази нова технология в управление на железопътното движение обаче се бави поради високите изисквания за надеждност и безопасност.

Целта на настоящата разработка е да се формулират проблемните въпроси, чието решаване ще позволи спътниковото позициониране да навлезе в железопътната осигурителна техника. От това се очаква много. Като се започне от регулирането на движението с подвижни блок-участъци, мине се през премахването на почти цялата линейна осигурителна инфраструктура (релсови вериги, броячи на оси, бализи, светофори) и се стигне до оптималното регулиране на движението от единни радио блок центрове.

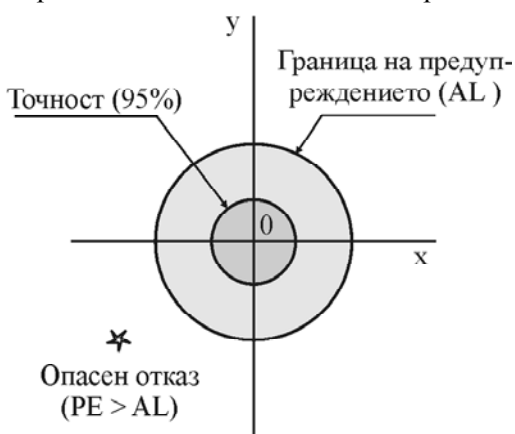
2. RAMS ИЗИСКВАНИЯ И GNSS ХАРАКТЕРИСТИКИ

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) са предназначени за решаване на голям кръг задачи, но сред тях преобладават авиационните. Основните GNSS характеристики произлизат от авиационните норми и в частност от авиационните норми за безопасност, а те съществено се различават от железопътните. Железопътната общност не е имала повод и възможност да заяви специфичните си изисквания както към SIS (*Signals In Space*), така и към цялостните системи за глобална навигация. Тук не става дума само за различаващи се стойности на отделни характеристики, а и за различни измерители и дори за различни дефиниции на иначе еднакво звучащи измерители, например безопасност.

В авиацията от 1993 г са възприети следните четири характеристики за качество на навигационните системи: точност, интегритет, непрекъснатост и готовност (достъпност) [1].

Точността се определя като разлика между предполагаемата позиция и истинската позиция при отсъствие на откази и обикновено се изразява на ниво 2σ . Това е статистическа мярка за грешката. Точността е единственият първичен навигационен параметър, който има самостоятелно значение. Тя е основа за останалите параметри.

Интегритетът е способността на навигационната система да осигурява навременни и валидни предупреждения към потребителя, когато системата не отговаря на желаните граници на точност. Интегритетът често се изразява чрез интегритетния риск (*IR – Integrity Risk*). Това е вероятността позицията да се определя с грешка (*PE – Positioning Error*) превишаваща максимално допустимата стойност *AL (Alert Limit)* (фиг.1) и потребителят да не бъде информиран в рамките на специфично време *TTA (Time To Alarm)*, например 1s. Интегритетният риск винаги е свързан с неоткрит отказ.



Фиг.1 Интегритет на навигационна система

Очевидно е, че интегритетът силно зависи от точността.

Непрекъснатостта е способността на навигационната система да изпълнява функциите си без прекъсване по време на планираната операция. По точно непрекъснатостта е вероятността да се поддържа навигация за продължителността на етапа от операцията и при предположението, че в началото на този етап системата е била достъпна (в готовност). Непрекъснатостта се изразява чрез риска да се загуби непрекъснатост (*CR - Continuity Risk*), който е максималната приемлива вероятност услугата да прекъсне за разглеждан период от време. Непре-

къснатостта се нарушава от отказ в системата, който се открива и се сигнализира, или пък е лъжлива тревога при правилно функциониране на системата.

Готовността е показател за способността системата да осигурява услугата в указана зона на покритие. Готовността се изразява като процента време, при което характеристиките на услугата са в необходимите граници.

Готовността е функция както от техническото състояние на апаратурата, така и от физическите характеристики на средата (например засенчване на референтна точка).

Система може да има висока готовност, но едновременно с това лоша непрекъснатост поради многобройни краткотрайни прекъсвания.

Изискванията за рисковете от загуба на интегритет и непрекъснатост са извлечени от историческите статистически данни за произшествия с търговски самолети за определен период от време. Средната загуба е изразена като 431 катастрофални злополуки на 230 милиона полета, т.е. $1,87 \times 10^{-6}$ за полет, след което рисковете за катастрофална злополука са разпределени като вероятности за времетраенето на различните операции. Проблемът обаче е в това, че рискът от загуба на интегритет (неоткрит отказ) обхваща цялата операция, докато рискът от загуба на непрекъснатост (открит отказ) се отнася за най-важната част от операцията, например когато пилотът трябва да вземе решение да продължи ли кацането или да се откаже. Ето защо в авиацията е прието рискът от загуба на интегритет да се остойностява за всеки 150 s, а рискът от загуба на непрекъснатост – за всеки 15 s.

Така изискванията към Galileo SIS (без да се отчита приемника) за SoL приложения са [2]: $IR = 2,0 \times 10^{-7}$ за всеки 150 s, $CR = 8,0 \times 10^{-6}$ за всеки 15 s, готовност на услугата 99,5%, ТТА = 5,2 s, хоризонтална граница на предупреждение (HAL) = 12 m.

Същността на авиационната философия за безопасността е да се постигне висока надеждност, докато целта на железопътната осигурителна техника е да се постигне висока безопасност. Сигурността в авиацията е свързана с транспортното средство, т.е. самолета, а железопътната безопасност е фокусирана върху осигурителната система.

Цитираните по-горе стойности за точност, IR, CR и готовност се отнасят за европейската навигационна система Galileo. Те са малко по-добри от тези на останалите глобални позициониращи системи. Чрез средствата на диференциалните корекции могат да се постигнат и още по-добри параметри. Но дали тези стойности са достатъчни за осигуряване на безопасно позициониране на влакове? Отговорът е труден и основната трудност идва от факта, че стандартите за железопътна безопасност са базирани на други характеристики. Така дефиницията за безопасен интегритет (safety integrity), съгласно EN 50129 е „способността на свързаната с безопасността система да изпълнява необходимите безопасни функции при всички определени условия в пределите на определени въздействия на средата и в рамките на установен период от време”. Лесно се открива, че между безопасен интегритет и интегритет на навигационна система има само фонетична прилика. А именно безопасният интегритет е определящият фактор при разпределението на електротехническите системи в четирите SIL нива по стандарта IEC 61508.

В железопътния стандарт EN 50126 не се споменават никакви изисквания за непрекъснатост. Железниците нямат специални изисквания за продължителността на специфични действия по подобие на авиацията и мореплаването, понеже е трудно да се оцени продължителността на едно железопътно действие. Трудно е да се детерминират най-критичните фази в железопътното движение.

Друго съществено разминаване се появява, когато изчислената позиция на изхода на GNSS приемника е декларирана като достъпна (available) за потребителя. Това се случва, когато позиционната грешка не надвишава границата на предупреждение, определена от потребителя ($PE < AL$), но това не означава, че RAMS готовността е налице. Всъщност осигурена е готовност за позиционно определение с приемливи интегритетен риск и неоткрити безопасни откази.

Накрая, нека да бъде отбелязано още нещо. Железопътната осигурителна техника, решавайки позиционната задача чрез релсови вериги и броячи на оси, практически никога не се е интересувала от точност, а това за глобалните позициониращи системи е ключова характеристика.

Казаното по-горе показва, че не е възможно само по стойностите на основните навигационни характеристики да се правят заключения относно удовлетворяване на железопътните изисквания.

3. ЖЕЛЕЗОПЪТНИТЕ ИЗИСКВАНИЯ КЪМ СПЪТНИКОВИТЕ ПОЗИЦИОНИРАЩИ СИСТЕМИ

Това че глобалните позициониращи системи от второ поколение са факт не отменя необходимостта железопътната общност да формулира претенциите си към техните характеристики. Това е смислено по много причини:

- Глобалните позициониращи системи не са непроменима даденост. Техните оператори периодично заменят изстрелваните спътници с нови, чиито качества могат да се насочват към решаването на нови общественозначими задачи;

- На базата на съществуващите GNSS са развити, основно за сметка на диференциална корекция, множество допълнени системи, чиито качествени характеристика значително превъзхождат тези на базовите. Тук се визират OmniSTAR, EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System), американските WAAS (Wide Area Augmentation System) и HA-NDGPS (High Accuracy Nationwide Differential GPS), MSAS (japanese Multy-functional Satellite Augmentation System) индийската GAGAN, руската СКДМ (Система дифференциальных корректировок и мониторинга). Този списък непрекъснато се разширява, като се добавят системи със специфична насоченост;

- Нужна е база (набор от параметри и техните стойности), по която да се установява удовлетворяват ли съответните GNSS устройства железопътните изисквания. Тази база би била критерий за достатъчност и когато спътниковите позициониращи устройства се допълват от други навигационни средства.

Първи опит за формулиране на железопътните изисквания към GNSS базирани средства за позициониране е направен през 2000 г. в рамките на GNSS Rail Advisory Forum [3]. Табл.1 дава най-съществената част от обобщенията на форума.

Таблица 1. Изисквания на железопътния сектор към характеристиките на GNSS

Приложение на CNSS в:	Точност по хоризонтала, m	Интегритет		Непрекъснатост, %	Достъпност, %
		HAL, m	TTA, s		
Линии с голяма интензивност	1	2,5	< 1	> 99, 98	> 99, 98
Линии със средна интензивност	10	20	< 1	> 99, 98	> 99, 98
Линии с малка интензивност	25	50	< 1	> 99, 98	> 99, 98

Резултатите от работата на форума имат своето място, но са обременени от множество непълноти. Най-съществената е, че в таблицата няма стойности за интегритетния риск, от който съдейки по определенията в стандартите (EN 50126 и EN 50129) зависи вероятността за опасен отказ, която от своя страна трябва да съответства на четвъртото ниво на безопасен интегритет – SIL4.

Съгласно стандартите интегралното ниво на безопасност характеризира безопасността на цялостната система и представлява вероятността за опасен отказ за един час. За осигурителните системи тази вероятност трябва да е по-малка от 1×10^{-9} 1/h (SIL4). Тъй като става дума за възможността за използване на спътникови технологии за осигуряване на безопасността на движението, то отсъствието на потвърждение за HAL в рамките на времето TTA може да се счита за

опасен отказ. Тогава стойността на интегритетния риск, удовлетворяваща SIL4 трябва да бъде $4,2 \times 10^{-11}$ за период от 150 s. На това основание в [4] е предложено да се въведе норма за интегритетния риск – малко по-малка от току що изчислената стойност, а именно $< 10^{-10}$ за всеки 150s.

Освен това в горната таблица не са дефинирани добре изискванията за непрекъснатост, хоризонталната точност не кореспондира с предложените граници на предупреждение.

Независимо от непълнотите табл.1 е добра основа за оценка на едно или друго навигационно решение. В табл.2 са показани сравнимите показатели на двете най-популярните разширени системи за спътникова навигация. Вижда се, че и двете не отговарят на необходимото ниво на интегритетен риск, както и на времето за предупреждение.

Таблица 2. Сравнение на характеристиките на различни допълнени системи

Система	Точност по хоризонтала, m	Интегритет		Достъпност, %
		IR, 1/150 s	TTA, s	
EGNOS	1,5	2×10^{-7}	6,0	99,9
WAAS	1,2	1×10^{-7}	6,2	100

Американските изисквания не са много по-различни. Изискваната точност по хоризонтала е 1 m (2σ), TTA = 6 s, а достъпността е 99,999% [6].

4. ВЪЗМОЖНИ ПЪТИЦА ЗА ДОСТИГАНЕ НА ИЗИСКВАНИЯТА НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ СЕКТОР

За достигане на изискванията на железниците са възможни различни подходи, като в основата на всички стои натрупването на по-вече и различни навигационни средства.

Първата възможност е позиционната задача да се решава само с ресурса на глобалните спътникови системи. Системата е автономна и представлява приемник на GNSS сигнали. Точността при този подход се определя от конкретната GNSS и е от порядъка на десетина метра. Тази първа възможност изглежда по-приемлива, когато се използват комбинирани приемници (за сигналите на GPS и ГЛОНАСС). Тогава броят на едновременно приеманите спътници е голям, може да се постигне по-висока точност, но също така и по-добри показатели за достъпност и непрекъснатост.

Вторият подход е работата на автономната система да се подпомогне от цифрова карта на пътя. Той е използван в проекта LOCOPROL [5], където цифровата карта на пътя е позволила кръговото 3D позициониране да се замени с 1D хиперболично и да се провеждат повече позиционни определения с по-малко спътници. Така е постигната вероятност за опасен отказ 1×10^{-9} – 1×10^{-11} , което удовлетворява изискванията за SIL4. За съжаление този добър резултат е актуален за твърде голям доверителен интервал за сигурната позиция на локомотива – до 550 m, което от своя страна ограничава възможностите за прилагане само на участъци с малка интензивност на движението.

Следващият подход се формира за сметка на използването на диференциални корекции. Всъщност и при LOCOPROL са използвани сигнали от геостационарните спътници на EGNOS, но този опит е по-скоро негативен. Поради засенчване от растителност и релеф в споменатия проект е констатирано, че за географската ширина на Белгия, геостационарните EGNOS спътници са видими само за около 30 % от времето. Реални резултати могат да се получат само с локална корекция или системи от типа HA-NDGPS. Последната е развърната на територията на САЩ, ползва мрежа от наземни референтни станции и е адресирана към нуждите на бреговата охрана и управление на влаковото движение. При нея точността на позиционното определение е до няколко дециметра. Има добър интегритет с TTA - 1 s.

Друг подход е интегрираното използване на спътникови навигационни средства и допълнителни измервателни преобразуватели (датчици). Резултатите от разнородните измервания се обединяват с Калманови филтри. Възможни са три вида датчици - инерциални (жироскоп, акселерометър), вихротокови датчици за приближаване и одометри (тахомери). Инерциалните датчици и тахометрите предоставят относителни координати и допускат натрупване на грешка, докато вихротоковите, както и GNSS средствата определят абсолютно координати. Точността на интегрираните системи за позициониране при съчетаване на данните от GNSS и инерциални средства може да достигне 3 m [4]. Възможностите за изграждане на интегрирани системи, както и на комбинираното прилагане на описаните по горе походи са изследвани и експериментирани в редица европейски проекти.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изброените по-горе подходи за допълване на възможностите на глобалните позициониращи системи допускат и тяхното съвместно използване. Това е основателна причина за еднозначен положителен отговор на въпроса дали в железопътната осигурителна техника има място за спътникова навигация. Основният въпрос е как да се подберат необходимите компоненти и как да се оценят безопасностните характеристики на комплексното решение. От казаното до тук личи, че:

- е необходима методология за конвертиране на основните RAMS параметри в GNSS характеристики и обратно;
- железопътният сектор трябва да изрази изискванията си към средствата за определяне на местоположение си чрез характеристиките точност, интегритет, непрекъснатост и готовност;
- необходимо е да се изясни как точността и непрекъснатостта на навигационната система влияят върху сигурността на железопътното движение;
- очаква се една от най-трудните за постигане RAMS характеристики да е достъпността, поради което е необходимо да намери механизъм за определяне на процентното участие на всички компоненти на комплексната позиционираща система в нейната достъпност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Filip, A., J. Beugin, J. Marais, H. Mocek. Safety concept of railway signalling based on Galileo Safety-of-Life Service. COMPRAIL 2008, Toledo, Spain, Sept. 15-17, 2008.
- [2] Filip, A. Railway Safety Certification Requirements for the Galileo Signal-in-Space. CERGAL 2006, Braunschweig, April 4-6, 2006.
- [3] GNSS Rail User Forum. Requirements of Rail Applications. Final draft. May 2000 http://www.tudc.cz/lis/european_gnss_secretariat_2000.pdf
- [4] Любченко, А. Анализ структуры системы для определения местоположения подвижного состава на основе спутниковой навигации (Analysis of GNSS-based facility structure for identification of rolling stock location). Известия Транссиба, № 3(3) 2010 pp.81-88.
- [5] Simsky, A., F. Wilms, J-P. Franckart. GNSS-based failsafe train positioning system for low-density traffic lines based on onedimensional positioning algorithm. NAVITEC '2004, Noordwijk, Netherlands, December 8-10, 2004.
- [6] Федеральный радионавигационный план 2005 года. <http://www.internavigation.ru/documents/1-445.html>
- [7] Poliak, J., D. Beisel, U. Becker, F. Hänsel, J. May, E. Schnieder. Satellite based localisation system for secondary railways lines. Mechanics Transport Communications № 3, 2007, pp.VIII-11 – VIII-16.

POSSIBILITY FOR USING GLOBAL POSITIONING IN RAILWAY SIGNALING

Nedelcho Nedelchev

Higher School of Transport "Todor Kableshkov" 158 Geo Milev Str. 1574 Sofia
BULGARIA

Key words: *GPS, GLONASS, GALILEO, railway signaling, reliability, safety.*

Abstract: *The aim of this work is to formulate the problems, solving which will enable the satellite positioning to be introduced in railway signaling.*

The global positioning systems of the second generation are a fact. That however does not remove the need the railway community to formulate claims to their characteristics. This is meaningful for many reasons. Global positioning systems are not an unchangeable. Their operators periodically replaced the shot satellites with new ones that allow solve new significant problems. On the basis of existing GNSS multiple augmentation systems have been developed, mainly by differential correction. The qualitative characteristics of the new systems are significantly superior to those of the existing. To establish if the relevant GNSS equipments satisfy the railway requirements a base is needed (a set of parameters and their values). This base would be sufficient criterion when satellite positioning devices are complemented by other navigational means.

To achieve the railways requirements, various approaches are discussed in this report. All they use simultaneously different navigational means.