

## **ПОВИШАВАНЕ ТОЧНОСТТА НА ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА МЕТРОВЛАКОВЕ С АВТОМАТИЧНО УПРАВЛЕНИЕ**

**Емилия Димитрова, Светослав Томов**  
[edimitrova@bitex.bg](mailto:edimitrova@bitex.bg), [tomov\\_svetoslav@abv.bg](mailto:tomov_svetoslav@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“  
София, ул. „Гео Милев № 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** позициониране, *Communications-Based Train Control (CBTC)*

**Резюме:** Автоматизираните влакове сами определят местоположението си по железния път и го докладват до центъра за управление. Докладът е изготвен с цел да предостави обзор на съвременни видове бордови сензори, които отговарят на предизвикателството на строгите норми за прецизно позициониране на метровлаковете. Докладът разглежда типичен набор от специализирани бордови съоръжения (радар, одомерър, бализна антена и характерно място на разположение на влака. Акцентът е определен върху съвместната работа на отделните сензори – одомеррията, жизненоважна част на CBTC системите за сигнализация. Позиционирането на влак по железния път, базирано на информацията от радарите и одомеррите, се определя на база с толеранс, чиито горна и долна граница могат да варират. Преминаването на влак над бализа и съответно „прочитане“ на нейната телеграма увеличава прецизността на позициониране на влака в границите на някакъв тесен толеранс. Той се определя от диаграмата на насоченост на бализната антена на влака и местоположението на бализата под нея. Грешката при определяне на местоположението на влака може да бъде в плюс или минус. Предвид това, системата за сигнализация приема, че влакът заема участък от пътя  $\pm$  неточността в момента на измерване, т.е. влакът изкуствено се „удължава“. При преминаване над бализа, системата за сигнализация отчита този факт и „възвръща“ реалната дължина на влака. В заключение, одомеррията е от първостепенно значение за безопасността и комфорта на пътниците.

### **ВЪВЕДЕНИЕ**

Подземният релсов транспорт, като една значима част от градския транспорт, подлежи на организация, усъвършенстване и оптимизиране на техническите решения и оперативни мерки. Ключът към по-високите показатели на градските железопътни системи се крие в автоматизацията на системите за сигнализация. Автоматизирани влакове от ново поколение се движат без машинист на борда, сами определят местоположението си по железния път и изпращат съответните доклади до диспечерския пункт. Обратно, от диспечерския пункт към влаковете се изпращат управляващи команди. Налице е двупусочен обмен на жизненоважни данни при непрекъснатата комуникация – *Communications-Based Train Control (CBTC)* [1].

Този доклад предоставя преглед на съвременен набор от бордови сензори за позициониране на метровлакове, основни работни принципи и взаимовръзка.

## **НЕОБХОДИМОСТ ОТ ПРЕЦИЗНО ПОЗИЦИОНИРАНЕ НА МЕТРОВЛАКОВЕ**

Главната необходимост от високата прецизност при определяне на местонахождението на влаковете в подземната железница произтича от безопасността [2, 3]. Залагането на високи норми на уплътняване на трафика по линията – примерно движение в подвижен блок с времеинтервали между влаковете под 90 s (в някои страни дори и по-кратки), а също и използването на перонни преградни стени, където при спиране на перон вратите на влаковете трябва да са центрирани спрямо отварямата част на преграда с примерен толеранс от порядъка на  $\pm 30$  cm, поставя сериозен въпрос относно точно и надеждно определяне на местонахождението на метровлаковете по железния път.

## **БОРДОВИ СЕНЗОРИ ЗА ПОЗИЦИОНИРАНЕ**

Конвенционалните системи за откриване на заетостта на пътя, базирани на релсови вериги или на броячи на оси, са отстъпили мястото като основна система за позициониране на метровлаковете. При новоизграждащите се линии и при обновяването на старите такива, те се използват като второстепенни системи, в случай на деградиране на водещата система за сигнализация СВТС, т.е. изборът на набор от бордови сензори за позициониране се явява с по-висока важност за сметка на крайпътната апаратура.

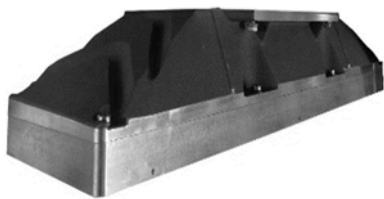
Един типичен съвременен набор от специализирани бордови съоръжения за позициониране на метровлакове включва (фиг. 1–3, снимки Siemens Mobility) [1]: радар, одометър (импулсен генератор – OPG), бализна антена.

На Фиг. 1. е показано типично изображение на радар. Работата му се основава на Доплеровия ефект – измерва разликата в честотата между излъчените и получените микровълни. Тази разлика е пропорционална на скоростта на возилото. Характерно за радарния сензор е, че той работи с повишена неточност, когато влакът се движи с ниска скорост.

На Фиг. 2. е показано типично изображение на одометър (импулсен генератор). Той се състои от ротор със зъби, който е свързан с колооста на влака посредством задвижващ език. Зъбите на ротора минават покрай две сканиращи системи. Всяка от индуктивно работещите сканиращи глави разстройва LC резонансна верига, като по този начин модулира честотата на осцилатора и генерира точен брой импулси при всяко пълно завъртане на оста [4]. Характерно за одометъра е, че той работи с повишена неточност при боксуване и пързаяне на колелата на влака по железния път.

Към горните следва да се добавят и бордовия компютър, с алгоритъм за обработка на информацията от сензорите, и бализите (маркерите), разположени по железния път (на фиг. 3. е показано типично изображение на бализна антена и бализа).

На Фиг. 4. е показано примерно разположение на сензорите за позициониране на 4-вагонен състав. Вижда се, че на борда на влака има два комплекта от по-горе споменатите сензори.



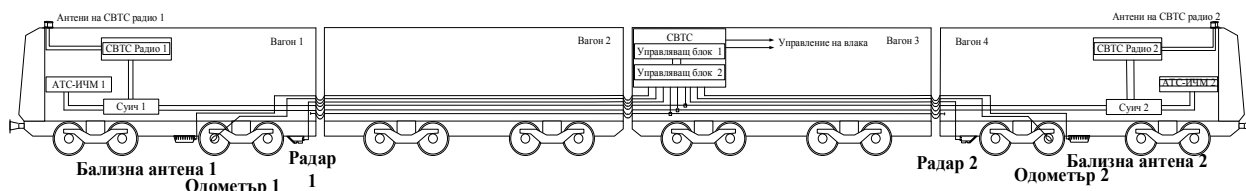
Фиг. 1. Типично изображение на радар



Фиг. 2. Типично изображение на одомеръ



Фиг. 3. Типично изображение на бализна антена и бализа



Фиг. 4. Примерно разположение на сензорите за позициониране на 4-вагонен състав

Резервирането се прави с цел единичните повреди да не се отразяват негативно на оперативната разполагаемост. По този начин се гарантира непрекъснатото и надеждно проследяване на влака.

## ОДОМЕТРИЯ

Съвместната работа на компонентите на радарите, одомерите и бализните антени се нарича с общото название „одометрия“.

Оптималното решение е да се използва комбинация от радарен сензор и одомеръ, като се добави и валидиране посредством друг сензор, „четящ“ прецизна информация от разположени по пътя маркери – бализни антени. Активен предавателен блок във влака непрекъснато изпраща енергиен сигнал (MHz), насочен към пътя. При преминаване над бализа пасивният крайпътен елемент се активира за предаване на телеграмен сигнал (MHz), който на свой ред се приема обратно от приемателен блок.

На Фиг. 5. е показан процесът на нулиране на грешката при позициониране на влаковете по пътя. По хоризонталата се отчита реално изминатото разстояние от влака, а по вертикалата – измереното от одометрията изминато разстояние. За ориентир е приета Централната линия. Така местонахождението на влака по пътя, базирано на информацията от радарите и одомерите, се определя с толеранс, чиито горна и долна граница могат да варират (увеличават се) в зависимост от това кога за последно влакът преминал над бализа.

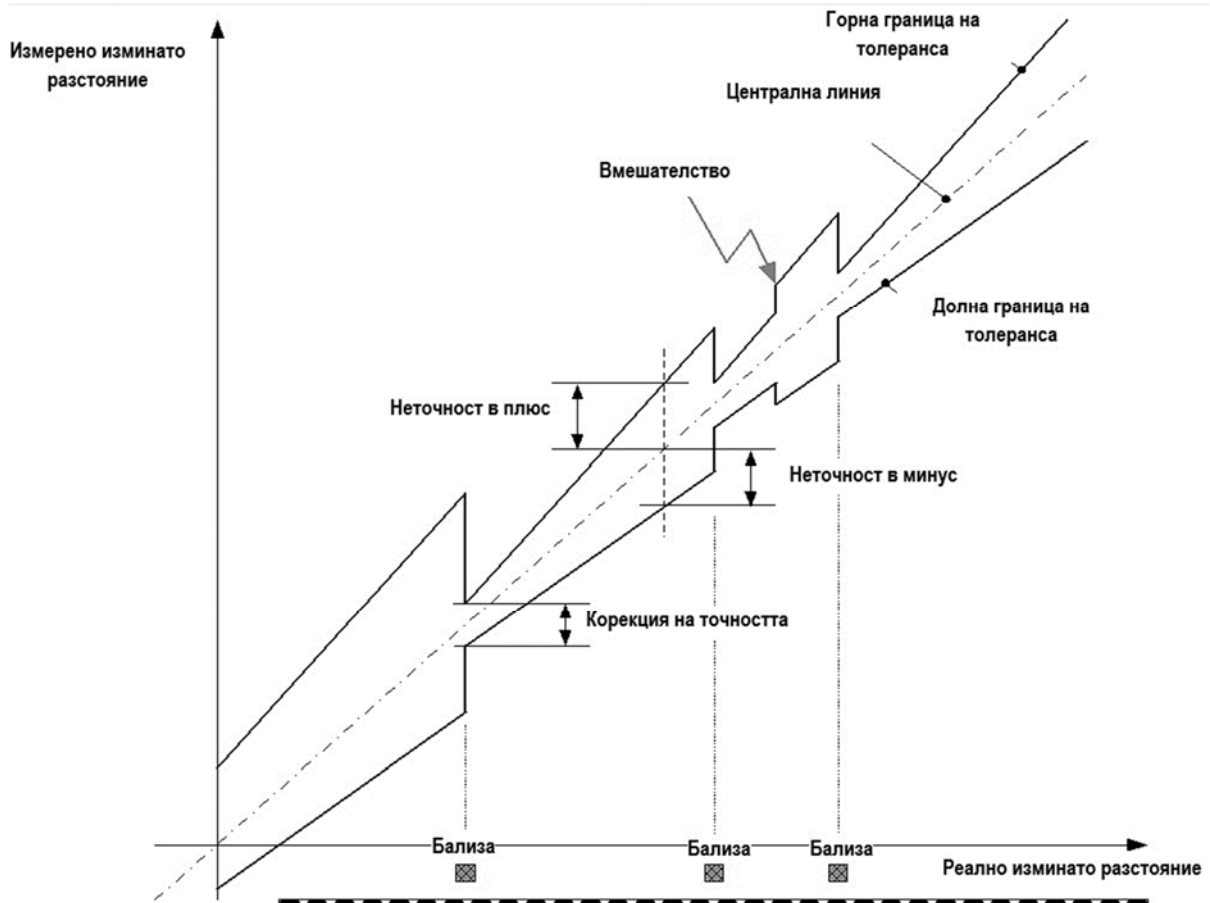
Видно е, че в моментът, в който влакът „прочита“ телеграмата от дадена бализа, неточността на позициониране на возилото рязко намалява (нулира се), но все пак остава в границите на някакъв малък толеранс. Това се обяснява с диаграмата на насоченост на бализната антена и местоположението на бализата под нея. Също така е видно и че грешката при определяне на местоположението на влака може да бъде в плюс или минус. Предвид това, системата за сигнализация приема, че влакът заема физически участък от пътя  $\pm$  неточността в момента на измерване, т.е. влакът изкуствено се „удължава“. При преминаване над бализа системата за сигнализация отчита този факт и „възвръща“ реалната дължина на влака.

В случай на вмешателство – например приплъзване на колелата, е възможно неточността (грешката) при измерване да се увеличи рязко. Ако тази неточност премине предварително зададен праг на грешка, то бордовият компютър на влака задейства аварийна спирачка, изпълнявайки стратегията за безопасен отказ. В противен

случай, грешката от вмешателството се изчиства при преминаване на влака над следващата бализа по пътя.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение, одометрията е от първостепенно значение както за безопасността при експлоатация, така и за поддържане на степента на автоматизация на влаковете - Grade of Automation (GoA), и като следствие на това - комфорта на пътниците.



Фиг. 5. Нулиране на грешката при позициониране на влаковете

### ЛИТЕРАТУРА:

- [1] L.Schnieder, "Communications-Based Train Control (CBTC) – Components – Functions – Operations", 1<sup>st</sup> ed., Hamburg, pp. 36–40, 2019
- [2] Trainguard® MT Optimal performance with the world's leading automatic train control system for mass transit, Brochure, Siemens Mobility GmbH, Munich, pp. 8–9, 2018
- [3] Dimitrov V., Study of the possibilities for optimisation of positioning of electric vehicles, IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.1109/BulEF51036.2020.9326036, 2020
- [4] Петров И., В. Димитров, Системи за автоматично управление – Ръководство за лабораторни упражнения, трето преработено и допълнено издание, София, 2019

# IMPROVING THE ACCURACY OF POSITIONING OF AUTOMATICALLY CONTROLLED UNDERGROUND TRAINS

Emiliya Dimitrova, Svetoslav Tomov  
[edimitrova@bitex.bg](mailto:edimitrova@bitex.bg), [tomov\\_svetoslav@abv.bg](mailto:tomov_svetoslav@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*Sofia, 158 Geo Milev Str.*  
**THE REPUBLIC OF BULGARIA**

**Key words:** *positioning, Communications-Based Train Control (CBTC)*

**Abstract:** *Automated trains determine their location onto the railway tracks by themselves and report it to the control center. The paper aims to provide an overview of modern types of on-board sensors that meet the challenge of the strong norms for precise positioning of metro trains. The report examines a typical set of specialized on-board equipment (radar, odometer (pulse generator) and balise antenna) and typical location onto the train. The emphasis is on the joint work of the sensors – the odometry, a vital part of the CBTC signaling systems. The train location onto the railway tracks, based on information provided by the radars and the odometers, is determined with a tolerance, the upper and lower limits of which may vary. A train passing over a balise and the corresponding "reading" of its telegram increases the precision of the positioning of the train within the limits of some narrow tolerance. It is determined by the train balise antenna pattern and the location of the balise under it. The error of determining the train location can be with plus or minus. Given this, the signaling system assumes that the train occupies a section of the track  $\pm$  the inaccuracy at the time of measurement, i.e. the train is artificially extended. When passing over a balise, the signalling system takes this fact into account and returns the actual length of the train. In conclusion, odometry is vital for both passengers' safety and comfort.*