

**ПРИЛОЖЕНИЕ НА СПЪТНИКОВИТЕ НАВИГАЦИИ В
УПРАВЛЕНИЕТО НА ЖЕЛЕЗОПЪТНИЯ ТРАНСПОРТ****Емилия Димитрова***Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" - София***Светлин Стефанов***Висше транспортно училище "Тодор Каблешков" - София***APPLICATION OF SATELLITE NAVIGATION IN THE MANAGEMENT
OF RAILWAY TRANSPORT****Emilia Dimitrova***Todor Kableshkov University of Transport – Sofia***Svetlin Stefanov***Todor Kableshkov University of Transport – Sofia***Abstract**

Navigation systems have evolved rapidly in recent years, along with developments in other fields of science and technology. The navigation instruments are becoming more widespread in many areas of the economy due to the development of contemporary measuring and computing technologies and information measuring systems. The implementation of navigation systems in the management of vehicles and the development of multimodality, which is based on the use of GLONASS/GPS systems, lead to the creation and development of the so called intelligent transport systems. In this paper, the application of navigation technologies in the railway transport is considered.

Keywords: navigation systems; railway transport; positioning.

ВЪВЕДЕНИЕ

Навигационните системи се развиват бързо през последните години редом с развитието на другите области на науката и техниката. С развитието на съвременните технологии в областта на измервателната и изчислителната техника и информационно-измервателните системи, навигационните устройства навлизат все повече в почти всички области на икономиката.

Внедряването на навигационните системи в управлението на транспортните средства и развитието на мултимодалност, чиято основа е използването на системите GLONASS/GPS, водят до създаването и развитието на така наречените интелектуални транспортни системи.

В доклада се разглеждат възможностите за внедряване на навигационните технологии в управлението на железопътния транспорт с цел намаляване на интервала на по-

пътно следване и увеличаване на трафика и безопасността.

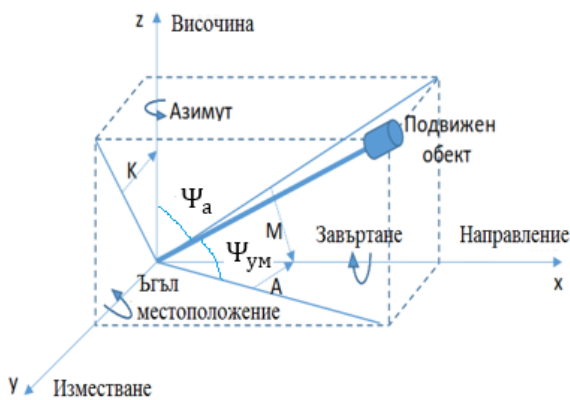
**ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ ПРИ
ОПРЕДЕЛЯНЕ НА МЕСТО-
ПОЛОЖЕНИЕТО**

Подвижният обект може да се разглежда като твърдо тяло, което се намира в еднородно поле с известни пространствени координати. За да се определи положението на обекта, е необходимо да се разчетат координатите на полето, в което се намира.

За положението на обекта се използва декартова координатна система, която позволява да се определи азимут, завъртане и ъгъл на местоположението.

Местоположението на координатите на подвижен обект, които определят неговото положение и ориентация, се счита за основната задача. На фиг. 1 е показана схема за определяне на линейното положение на

подвижен обект и неговата ъглова ориентация в неподвижна координатна система (x , y , z са линейни координати на подвижния обект). Положението на подвижния обект в пространството се характеризира с декартовите координати x , y , z с избрана опорна точка на обекта, взети по оста на неподвижната система. Ориентацията на подвижния обект се определя от ъгъла на Ойлер, отразяващ последователното завъртане на обекта в кръг около координатните оси – азимут (кръг около оста z), ъгъл на местоположение (кръг около оста y), завъртане (кръг около оста x).



Фиг. 1. Положение и ориентация на подвижен обект в декартова координатна система

По значението на дискретните координати може да се проследи траекторията на движението, моментното положение и ориентацията на обекта в произволен момент от времето между измеренията. Използва се съвременен модел на интерполация, с който е възможно да се предположи бъдещото положение на обекта с помощта на метода на моделиране. Важна характеристика на движещия се обект е честотата от изходни данни – координати, определяни както като измерителни средства, така и приложими към математически апарат:

$$f_0 = 1/(T_{\text{И}} + T_{\text{В}}) \quad (1)$$

където: f_0 – честота на изходните данни;
 $T_{\text{И}}$ – времето на измерения компонент на физическото поле;
 $T_{\text{В}}$ – време за изчисляване на координати.

Поради изменението на динамичната грешка в позиционирането обикновено се предполага, че по време на измерването обектът не променя своите координати. Това се постига с достатъчно висока честота на измерванията и позволява разглеждането на движението като последователност от статични положения, бързо сменящи се едно с друго.

Всяка схема за позициониране включва излъчвател на сигнал с известни пространствени координати и приемник за измерване, който по-често се разполага на подвижния обект [1].

Съществуват и грешки при определянето на местоположението с ъглова ориентация, като сумарната грешка се състои от следните основни компоненти:

1. Случайна съставка;
2. Съставящи грешки, обусловени от неточности при зададените навигационни координати в спътника и обекта;
3. Йоносферна и тропосферна грешки;
4. Грешки, обусловени от неточно зададени параметри или нестабилност в основната им част;
5. Грешки, причинени от отражението на сигнала;
6. Апаратна систематична грешка при измерване на фазовата разлика.

Значителен процент за грешката при определяне ориентацията на обекта внася случайната грешка при измерване на фазовата разлика на приетия сигнал. Разработени са алгоритми за оценка на грешките при определяне на ориентация и разстоянията на антените на обекта за случаите, като измерените фазови разлики на сигнала са за различен брой навигационни излъчватели и съществува между тях взаимна корелация.

Последната стъпка в определянето на ориентацията на обекта се явява изчисляването на ъгъла по азимут Ψ_a и ъгъла на местоположението $\Psi_{\text{ум}}$. Њгълът по азимут Ψ_a се счита за ъгъл между проекциите на надлъжната ос на обекта, по хоризонталната плоскост и направлението на север (оста Ox). Њгълът за местоположение $\Psi_{\text{ум}}$ е

между продължението на оста на обекта и хоризонталната плоскост.

Двата ъгъла $\Psi_{ум}$ и Ψ_a са свързани с косинусите на базовите вектори и връзка с координатната система на обекта със следното съотношение:

$$\Psi_a = \arctg\left(\frac{Z_T}{X_T}\right) \quad (2)$$

$$\Psi_{ум} = \arcsin(X_T) \quad (3)$$

В дадения случай величините $\Psi_{ум}$ и Ψ_a са функционално свързани с величините Z_T , X_T и се явяват резултатни косвени измервания. Намира се дисперсията на грешки за ъгъла по азимут Ψ_a и ъгъла за местоположението $\Psi_{ум}$ и след редица изчисления се достига до корелационната матрица на грешките при ориентация на обекта:

$$P_{\Psi} = \begin{pmatrix} \sigma_{\Psi_a}^2 & K_{\Psi_a \Psi_{ум}} \\ K_{\Psi_a \Psi_{ум}} & \sigma_{\Psi_{ум}}^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Тази матрица позволява да се оцени дисперсията на грешките, които са базови линии на обекта, две пространствено разнесени антени на потребителя, а също така корелацията се свързва с грешките, определени по азимут и ъгъла на местоположението [2].

ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕСТОПОЛОЖЕНИЕТО

В последните години в руските железници масово се внедряват спътниковите навигационни системи GPS и GLONASS като средства за управление на движението и обезпечаване на безопасността. ОАО “РЖД” е една от малкото железопътни компании, които реализират програми за широко приложение на космическите технологии за собствени цели. Железопътният транспорт на Руската федерация има изградена стратегия за внедряване на спътниковите навигационни системи в транспортни-

те средства до 2030 г. Темповете за внедряване на тези технологии се определят от степента на развитие на спътниковите системи и от възможностите за внедряване на комплексни много-функционални системи за управление в железопътния транспорт.

Една от първите иновации в Стратегията-2030 е внедряване на система за автоматично управление на движението на влаковете, мониторинг на състоянието на инфраструктурата и подвижния състав с използването на спътниковите технологии.

Използването на космическите триади (GLONASS/GPS, системата ДЗЗ за дистанционно сондиране на Земята и системата за подвижни спътникови връзки) практически без-алтернативно осигурява мониторинг на железопътния транспорт на разстояние около 85 000 км. В същото време се извършва постоянен мониторинг на десетки хиляди обекти (подвижен състав), което е възможно единствено с помощта на спътниковите технологии и съвременните средства за комуникация. Спътниковите технологии, на основата на обективна информация (без фактора на човешка намеса) в режим на реално време, ще могат да се използват за отговор на следните въпроси:

- къде в даден момент се намира подвижният състав;
- с каква скорост и в какво направление се движи;
- след колко време ще пристигне на местоназначението;
- какви са параметрите на работа на механизмите [4].

Пример за комплексните системи за управление с използването на спътникови технологии може да послужи регулирането на интервала на попътно следване на подвижните състави, показано на фиг. 2. Използвани са следните означения: РК – канал за радиовръзка; АБТЦ-М – автоматична блокировка с тонални релсови вериги – микропроцесорна; АЛСН – автоматична локомотивна сигнализация с непрекъснато действие; АЛС-ЕН – автоматична локомотивна



Фиг. 2. Приложение на спътниковите технологии за регулиране на интервала между подвижните състави

сигнализация единична непрекъсната; СНС – приемане и обработване на сигнал от спътниковите навигационни системи GPS/ГЛОНАСС.

Интервалното регулиране включва:

- движението на подвижния състав;
- обезпечаване на безопасността;
- устойчивост в графика на движение на интервали.

Това е ново приложение в сравнение с настоящето, където интервалите се осигуряват от блок-участъци. Свързано е с това, че техническото оборудване на локомотива не информира, ако отпред идва подвижен състав. Използването на тази система дава предимства като:

- Осигуряване на интервал попътно следване до две минути;
- Съкращаване на разходите за инфраструктурни обекти с 15 %;
- Разширяване на безопасността на движение и съответствие с международни стандарти CENELEC.

Въплъщение на подхода към интеграцията на спътникови технологии може да бъде и проектът „Интелектуална система за комплексно управление на движението на подвижен състав по скоростното направление Москва – Санкт Петербург“, който мо-

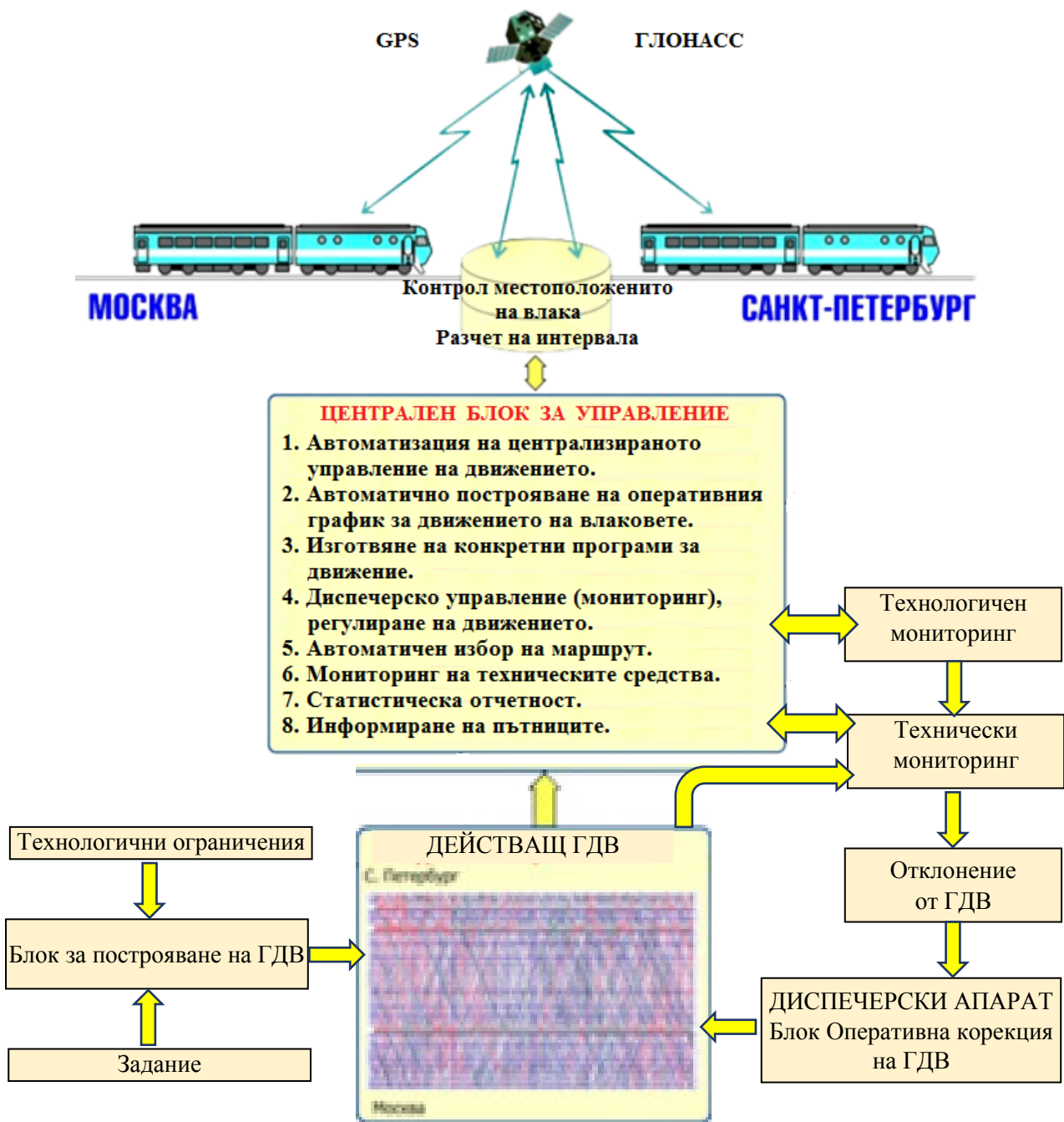
же да се превърне в първообраз на бъдещите системи за интелектуален транспорт (фиг. 3).

При автоматичното построяване на ГДВ се вземат предвид технологични ограничения от инфраструктурата и за различни видове дейности, включително пътничкопотока,

Извършва се в реално време технологичен и технически мониторинг: спазване на ГДВ, контрол на скоростта и на попътно следване, работа на устройствата, състояние на пътя [4, 5]. При отклонение от ГДВ се задейства Диспечерският апарат и се насят необходимите произтичащи от това корекции.

С тази технология се постигат:

- Осигуряване на графика на движение на влаковете (ГДВ) с точност до една минута;
- Повишаване възстановяването на графика на движението с 15 – 20 % при възникване на извънредни ситуации;
- Осигуряване на енерго-оптимален график на движение с икономия от 7 – 8 %;
- Постоянен мониторинг на инфраструктурата и подвижния състав [3].



Фиг. 3. Система за автоматизирано управление на подвижния състав (автопилот) по скоростния участък Санкт-Петербург – Москва

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Всички сателитни навигационни системи предават два вида сигнали:

- За граждански цели (общодостъпни);
- Сигнали с повишена точност.

Високоточните сигнали са тези, които могат да бъдат използвани за мониторинг и въздействие на подвижен състав.

2. Директно разпространяващите се сигнали служат за навигация и определяне на

точното местоположение, а също и за синхронизация на отделни възли.

3. Използването на навигационните системи за мониторинг и контрол на подвижния състав повишава ефективността и надеждността, допринася съществено за понижаването на разходите по експлоатацията и техническото обслужване.

4. Повишената ефективност и понижаването на разходите са висок стимул за

развитието на тази област. Търсенето на решения и разрешаването на появилите се проблеми са само малка част от усъвършенстването на процеса.

5. Внедряването на навигационните системи в управлението на железопътния транспорт ще доведат до включването му към интелектуалните транспортни системи.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Isaev A. O., Modern methods for determining location and orientation of objects for various purposes., Saint Petersburg 2016.
- [2] Aleshechkin A. M., Determining the angular orientation of objects., Moscow, INFRA-M. Krasnoyarsk SFU 2018
- [3] Vakulenko S. P., P. A. Egorov, Introduction of navigation systems in the organization of the transportation process., Moscow, 2011
- [4] Dimitrov V., L. Popov, Identification of significant movement parameters of trains powered by electric locomotive series 45, Acad. Journal Automatics and Informatics, Issue 2/2018
- [5] Todorov Y., R. Valkov, Modern methods and tools for performing complex of measurements of the rail track and facilities, Acad. J. Mechanics Transport Communications, Vol. 14, Issue 3/3, 2016, pp. VI-59 – VI-63