

УДК 681.518.2

О.В. Шульга

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

## ПОБУДОВА МОДЕЛІ ПСЕВДОСУПУТНИКОВОЇ РАДІОСИСТЕМИ ДЛЯ ОКРЕМОЇ ДІЛЯНКИ АВТОМОБІЛЬНОГО ШЛЯХУ НА ОСНОВІ ВИПРОМІНЮВАЧІВ ВИСОКОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ

Розроблена модель псевдосупутникової радіосистеми (ПС РС) для окремої ділянки автомобільного шляху та проведений її аналіз. Моделювання стало найважливішим засобом вивчення процесів і явищ, проектування і розробки нових приладів, пристроїв, систем [1, 2]. Дослідження, виконане не на реальному об'єкті, а на його моделі, що адекватно відбиває основні властивості і характер процесів в об'єкті, є досить ефективним. Модель являє собою досягнуті знання про предмет дослідження у формі, що відповідає цілям і задачам цього дослідження. Моделювання з використанням ЕОМ об'єднує в собі як чисельні методи рішення алгебраїчних і диференціальних рівнянь, так і програмні засоби, орієнтовані на вирішення задач цього класу [3]. Використання універсальних мов програмування (C++, Pascal, Delfi, Java тощо) дозволяє представляти моделі будь-яких процесів, що мають відповідний математичний опис, так як ці мови в якості базових мають дійсні і цілі типи даних. Крім того, в них визначені як арифметичні операції над дійсними і цілим типами, так і логічні операції.

**Ключові слова:** псевдосупутник, псевдосупутникова радіосистема (ПС РС), модель, навігаційний параметр, джерело світла високої інтенсивності, неперервне навігаційне поле, елементарна чарунка, кут височіння.

### Вступ

Для досліджень в якості базового об'єкту вибрана модель руху дорожньої розмічувальної машини з визначенням її навігаційних параметрів за допомогою СРНС [4,5,6]. Задача полягає у розрахунку параметрів та розробці моделі локальної ПС РС, яка підвищує безпеку руху наземних транспортних засобів за рахунок удосконалення її оптичних пристроїв, основою яких є джерела світла високої інтенсивності. За допомогою оптичних пристроїв (світильників з лампами типу ДРІ – 400), встановлених на стовпах освітлювальної мережі, утворюється неперервне навігаційне поле, яке сприймається РС псевдосупутника(або декількох ПС) повітряного базування для подальшої обробки і поточних вимірювань навігаційних параметрів (ВПНП) транспортного засобу.

Вихідні дані для проведення досліджень:

1. Тип елементарної чарунки – чотирикутна;
2. Відстань між оптичними пристроями – 45м;
3. Швидкість руху об'єкта – 60, 90, 120 км/год;
4. Висота встановлення наземного ПС 12м;
5. Кут височінню ПС повітряного базування 5-15°

**Мета статті:** оцінка доцільності використання ПС РС для управління рухом транспортних засобів, а також дослідження характеристик інтегрованого навігаційного поля ГЛОНАСС/GPS/ПС РС.

### Основна частина

Для оцінки доцільності використання ПС РС а також дослідження характеристик інтегрованого

навігаційного поля ГЛОНАСС/GPS/ПС РС було проведено моделювання роботи такої системи.

У якості об'єкта дослідження було обрано ділянку автомобільного шляху, над якою за допомогою наземної мережі ПС створювалося навігаційне поле, утворене із елементарних чарунок чотирикутної форми. У якості випромінювачів навігаційних сигналів у оптичному діапазоні застосовано металогалогенні лампи високої інтенсивності (світильники з лампами типу ДРІ-400 (700), розміщені на стовпах вздовж автомобільних шляхів.

При встановленні випромінювачів на існуючих стовпах освітлення автомагістралі на висоті  $H_{ПС} = 12$  м, для кута височіння, що лежить у межах 5-15°, відстань між проекціями точок розташування ПС на Землю  $d$  має лежати в межах 91-274 м. Приймаємо для досліджень відстань 270 м (випромінювач встановлюється на кожному 6-му стовпі, при стандартній відстані між стовпами 45 м). Прийнята ширина автомагістралі – 18,5 м (двостороння чотирихвостовна траса). Випромінювачі встановлені до обидва боки від дороги, утворюючи таким чином елементарну чотирикутну чарунку розмірами 18,5×270 м.

У процесі дослідження визначались похибки положення та швидкості статичного (нерухомого) об'єкта, та об'єкта, що рухається вздовж автомагістралі з постійною швидкістю (60, 90 та 120 км/год).

Середньоквадратичні значення похибки вимірювання в плані та висотної похибки в межах однієї елементарної чарунки, а також похибки визначення горизонтальної та вертикальної складових швидкості руху для об'єкта, що рухається

вздовж автомагістралі за швидкістю 90 км/год наведено на рис. 1-3.

Значення середньоквадратичних похибок положення та швидкості об'єкта, отримані під час дослідження, в межах однієї елементарної чотирикутної чарунки зведено в табл. 1.

Як видно з таблиці, застосування навігаційного поля ПС, утвореного елементарними чотирикутними чарунками, дозволяє визначати координати руху (положення та швидкість) рухомого об'єкту навіть при великих швидкостях руху.

Встановлення ПС кожні 270 м пов'язано зі значними фінансовими затратами. Збільшити відстань між ПС можна, розміщуючи їх на більшій висоті, але це теж пов'язане з додатковими видатками на будівництво вишок під них.

Таблиця 1

Середньоквадратичні похибки положення та швидкості об'єкта у межах чотирикутної чарунки

Похибка	Швидкість руху об'єкта, км/год.				
	0	60	90	120	
Положення в плані, м	min	0,02	0,08	0,10	0,13
	max	0,04	0,12	0,15	0,18
Висотна, м	min	0,1	0,2	0,34	0,41
	max	0,24	0,41	0,47	0,58
Швидкісна, горизонтальна складова, м/с	min	–	0,052	0,052	0,081
	max	–	0,082	0,094	0,13
Швидкісна, вертикальна складова, м/с	min	–	0,045	0,059	0,077
	max	–	0,079	0,087	0,112

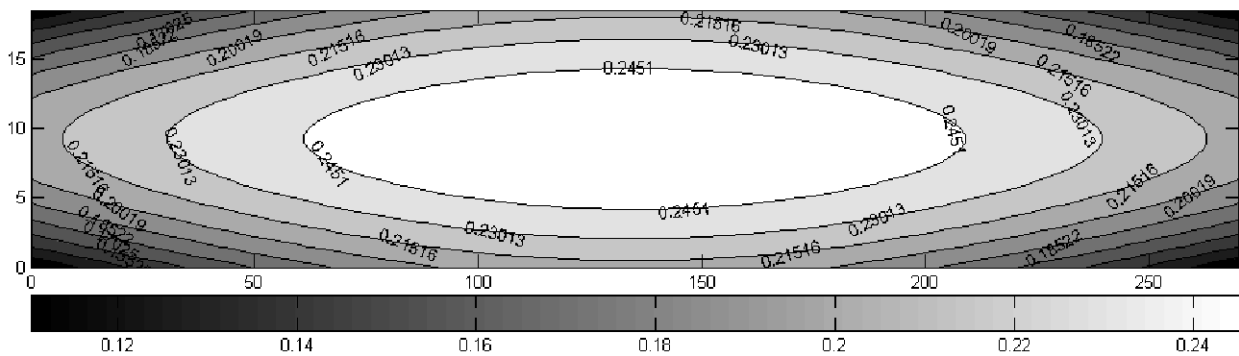


Рис. 1. Висотна похибка в межах елементарної чарунки для статичного об'єкта, м

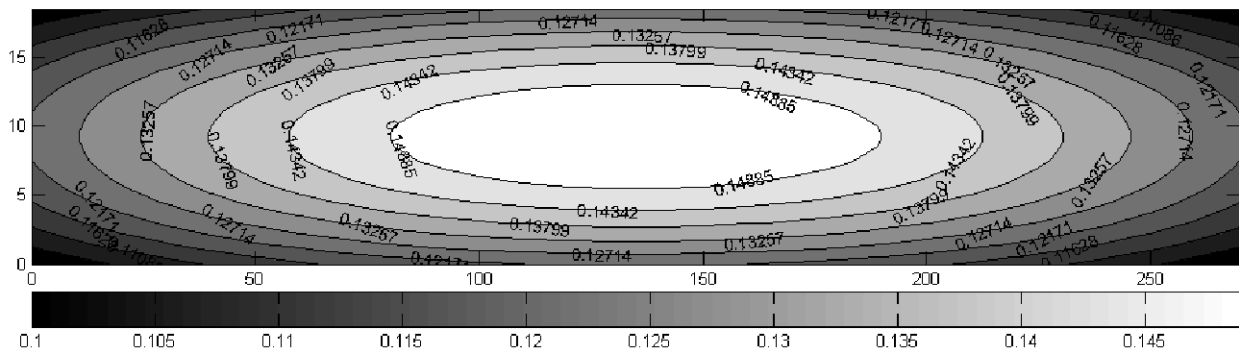


Рис. 2. Похибка вимірювання положення в плані в межах елементарної чарунки для об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., м

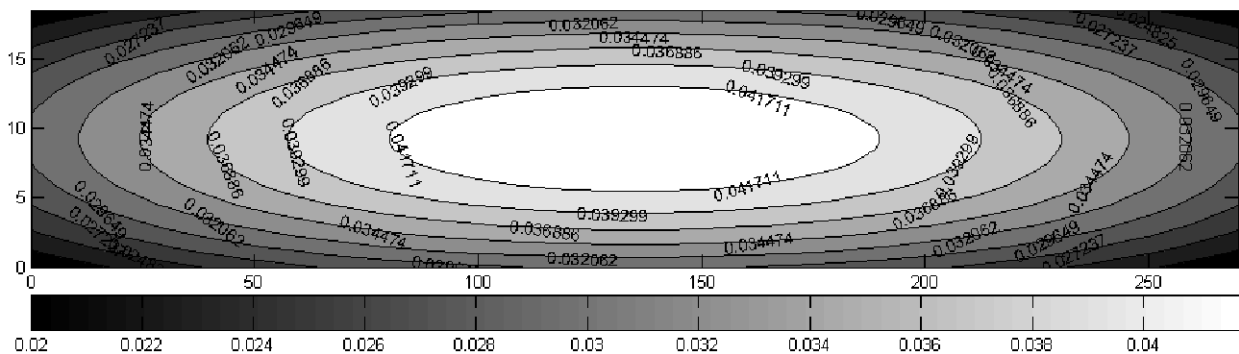


Рис. 3. Похибка вимірювання положення в плані в межах елементарної чарунки для статичного об'єкта, м

Враховуючи те, що значна частка сучасного транспорту обладнана (або може бути обладнана з відносно невеликими капіталовкладеннями) різноманітним навігаційним обладнанням низької та середньої точності (GPS-приймачі, GPS-навігатори, GPS-трекери тощо), альтернативно було розглянуто можливість навігації рухомого наземного об'єкта у інтегрованому GPS / ГЛОНАСС / ПС РТС навігаційному полі.

Під час дослідження розглядалися похибки визначення положення та швидкості руху статичного та рухомого об'єктів. Дослідження проводилось на тому ж відрізку автомагістралі, з тією відмінністю, що ПС розташовуються тільки з однієї сторони дороги. Таким чином, зони чотирикратного перекриття зон дії ПС не утворюється. Прийнято, що над ділянкою автомагістралі знаходяться 4

навігаційних ШСЗ, розташованих на висоті 20000 км у кутах квадрата зі сторонами 110000 км (досліджувана ділянка автомагістралі знаходиться поблизу центра цього квадрата). Графіки похибок положення у плані та похибок визначення горизонтальної складової швидкості при навігації з використання навігаційної інформації від наземного ПС та без неї для статичного об'єкта наведено на рис. 4 – 6, а для рухомого (швидкість – 90 км/год.) – на рис. 7, 8.

Значення середньоквадратичних похибок визначення положення в плані та горизонтальної складової швидкості руху об'єкта, із використанням навігаційної інформації від ПС РТС та без використання, отримані під час дослідження, зведено в табл. 2.

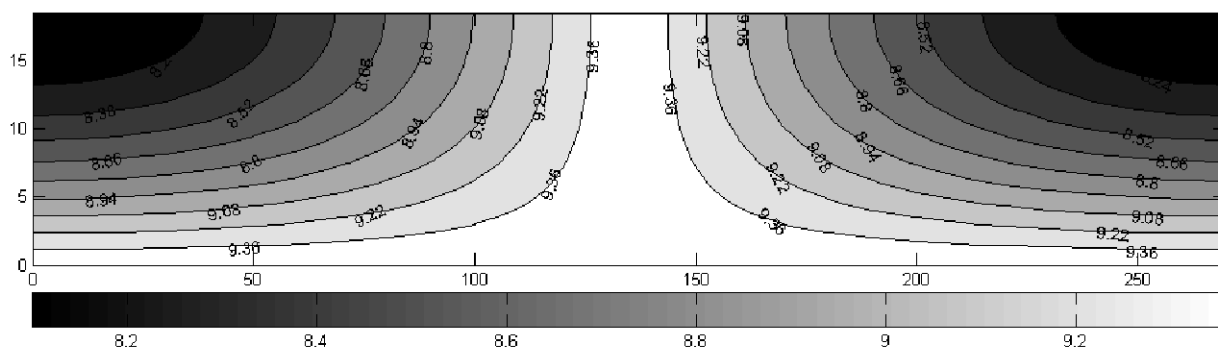


Рис. 4. Похибка вимірювання положення статичного об'єкта в плані без застосування навігаційної інформації ПС РС, м

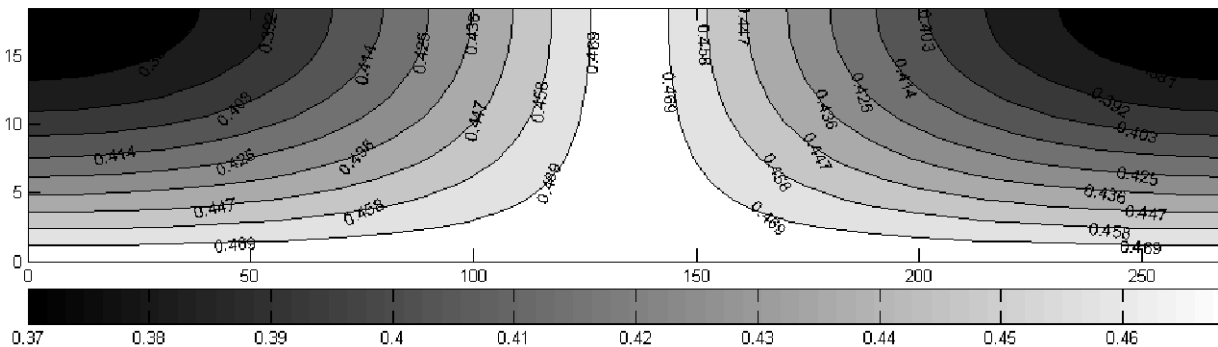


Рис. 5. Похибка вимірювання положення в плані із застосуванням навігаційної інформації ПС РС, м

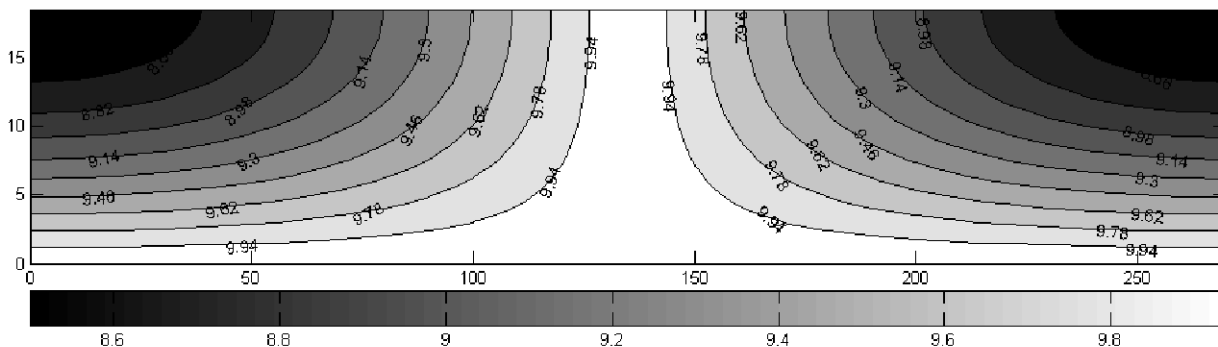


Рис. 6. Похибка вимірювання положення в плані об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., без застосування навігаційної інформації ПС РС, м

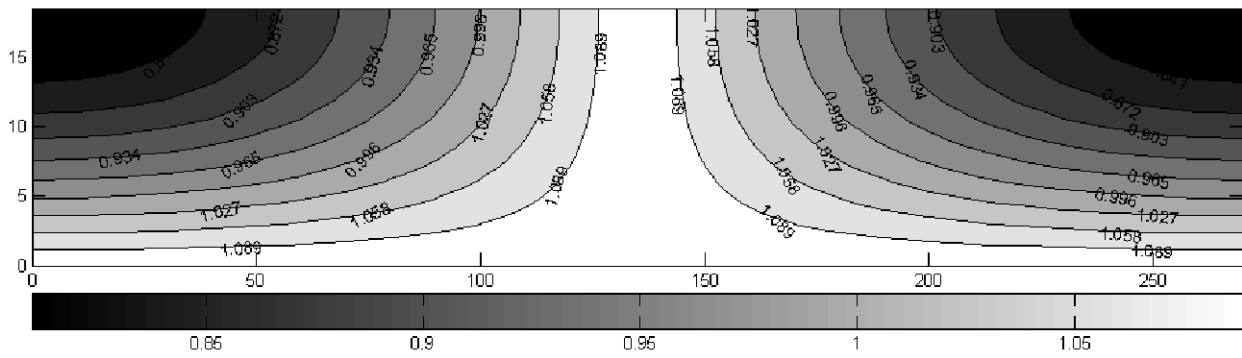


Рис. 7. Похибка вимірювання положення в плані об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., із застосуванням навігаційної інформації РС РС, м

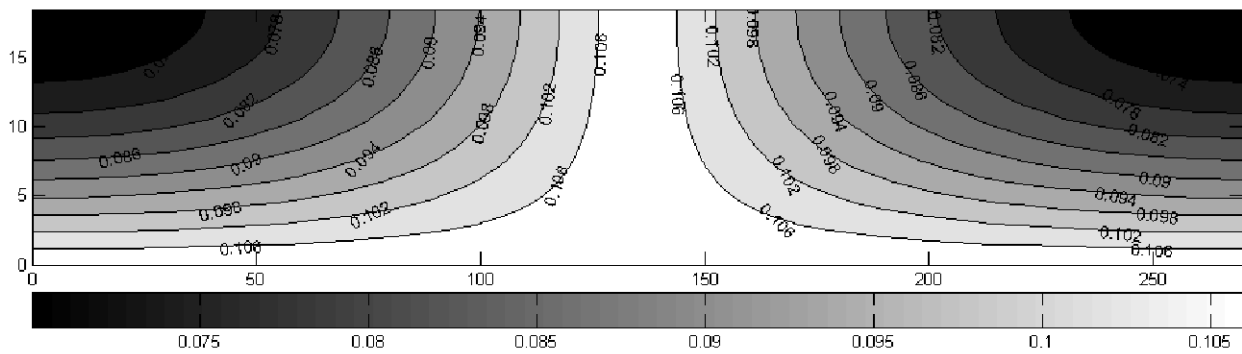


Рис. 8. Похибка вимірювання горизонтальної складової швидкості руху об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., без застосування навігаційної інформації РС РС, м/с

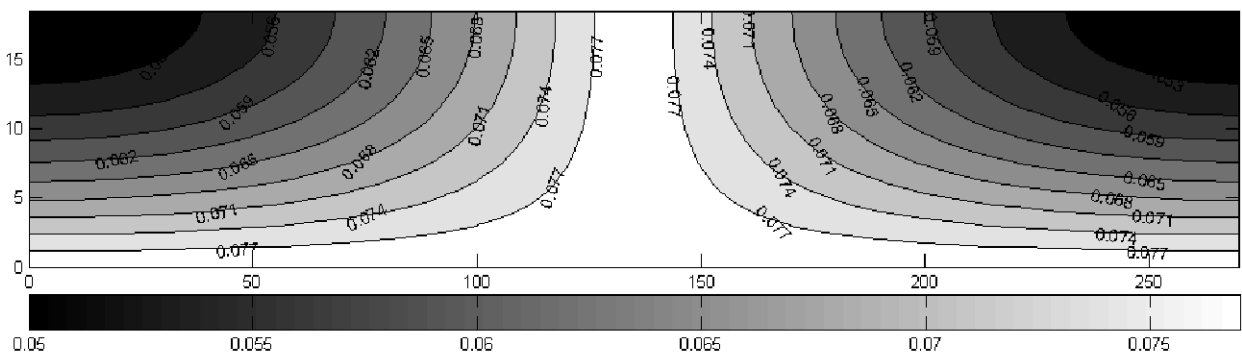


Рис. 9. Похибка вимірювання горизонтальної складової швидкості руху об'єкта, що рухається зі швидкістю 90 км/год., із застосуванням навігаційної інформації РС РС, м/с

Таблиця 2

Середньоквадратичні похибки положення та швидкості об'єкта із застосуванням навігаційної інформації від GPS/ГЛОНАСС та РС РС

Швидкість руху, км/год.	Навігаційне поле РС РС	Похибка							
		положення, м				швидкості, м/с			
		в плані		висотна		горизонтальна		вертикальна	
		min	max	min	max	min	max	min	max
0	-	8,1	9,5	15,7	21,7	-	-	-	-
	+	0,37	0,48	2,3	3,8	-	-	-	-
60	-	8,5	9,9	17,3	25,1	0,07	0,11	0,06	0,1
	+	0,81	1,09	1,83	2,23	0,05	0,08	0,04	0,08
90	-	8,7	11,3	17,7	26,4	0,08	0,12	0,07	0,11
	+	0,89	1,27	1,92	2,56	0,06	0,09	0,04	0,09
120	-	9,2	12,6	18,4	28,3	0,09	0,13	0,08	0,12
	+	0,96	1,38	2,13	3,21	0,07	0,08	0,05	0,11

Результати моделювання показують, що використання навігаційної інформації ПС РТС для створення інтегрованого GPS/ГЛОНАСС/ПС РТС навігаційного поля навіть без утворення зон чотирикратного перекриття ПС дозволяє значно (до 10 раз) підвищити точність визначення положення рухомого наземного об'єкта та його швидкість (до 30%).

## Висновки

У рамках даної статті проведений комплекс досліджень складу, побудови та принципу роботи ПС РНС, виконане моделювання ПС РНС, у якій у якості наземних псевдосупутників використані лампи типу ДРІ – 400(700), встановлені на стовпах вздовж автострад, навколо площ та інших елементів транспортної інфраструктури.

Аналіз синтезованої моделі ПС РС на основі випромінювачів оптичного діапазону дозволяє створити практичну діючу наземну мережу псевдосупутників, яка замінює діючу сучасну СНРС і забезпечує високі точності та економічні показники.

## Список літератури

1. Дятлов Г.И. Вероятностные основы моделирования сложных систем / Г.И. Дятлов, В.Д. Кудрицкий. – К.: КВВАИУ, 1992. – 530 с.

2. Прикладные математические методы анализа в радиотехнике / Ю.А. Евсиков, Г.В. Обрезков, В.Д. Разевиг, В.В. Чапурский, В.М. Чиликин. Под ред. Г.В. Обрезкова. – М.: Высшая школа, 1985. – 343 с.

3. Козелкова К.С. Теоретичні основи й методи побудови перспективних вимірювальних радіосистем ракетно-космічних комплексів з використанням шумоподібних просторово – часових сигналів К.С. Козелкова. – Дис. на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. К., 2011. – 414 с.

4. Шульга О.В. Точнісний підхід при навігаційно-почасових визначеннях у псевдосупутникових радіонавігаційних системах / О.В. Шульга // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. – П.: Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка, 2014. – Вип. 3(31). – С. 17–22.

5. Шульга О.В. Исследование зависимости зажигания металлогалогенных ламп от напряжения формирования разряда с целью оптимизации пусковых режимов в средствах навигации оптического диапазона / О.В. Шульга, Д.М. Нелюба, О.И. Данник // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2012. – Вип. 3 (101). – С. 134–137.

6. Эльясберг П.Е. Определение движения по результатам измерений / П.Е. Эльясберг. – М.: Наука, 1976. – 221 с.

Надійшла до редколегії 25.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Козелков, Державний університет телекомунікацій, Київ

## ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПСЕВДОСПУТНИКОВОЙ РАДИОСИСТЕМЫ ДЛЯ ОТДЕЛЬНОГО УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ НА ОСНОВЕ ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

О.В. Шульга

Разработана модель псевдоспутниковой радиосистемы (ПС РС) для отдельного участка автомобильной дороги и проведен ее анализ. Моделирование стало важнейшим средством изучения процессов и явлений, проектирования и разработки новых приборов, устройств, систем [1, 2]. Исследование, выполненное не на реальном объекте, а на его модели, адекватно отражающей основные свойства и характер процессов в объекте, является весьма эффективным. Модель представляет собой достигнутые знания о предмете исследования в форме, соответствующей целям и задачам данного исследования. Моделирование с использованием ЭВМ объединяет в себе как численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений, так и программные средства, ориентированные на решение задач этого класса [3]. Использование универсальных языков программирования (C++, Pascal, Delfi, Java и т.д.) позволяет представлять модели любых процессов, имеющих соответствующий математическое описание, так как эти языки в качестве базовых имеют действительные и целые типы данных. Кроме того, в них определены как арифметические операции над действительными и целым типам, так и логические операции.

**Ключевые слова:** псевдоспутник, псевдоспутниковая радиосистема (ПС РС), модель, навигационный параметр, источник света высокой интенсивности, непрерывное навигационное поле, элементарная ячейка, угол возвышения.

## PSEUDOSATELLITES RADIOSYSTEM MODEL BUILDING FOR SINGLE ROAD SECTIONS BASED ON HIGH INTENSITY EMITTERS

O.V. Shulga

Pseudosatellites radiosystem (PS RS) model designed for a single road section and conducted its analysis. Simulation has become an important tool in the study of processes and phenomena, design and development of new instruments, devices, systems [1, 2]. Research carried out not on the real object and its model adequately reflects the basic properties and the nature of the processes in place, is very effective. The model is made of knowledge about the subject in a form consistent with the goals and objectives of this study. Simulations using the computer combines the numerical methods for solving algebraic and differential equations, as well as software tools aimed at solving problems of this class [3]. The use of universal programming languages (C++, Pascal, Delfi, Java, etc.) allows you to represent the model of any process with the appropriate mathematical description, as these languages as base are the real and integer data types. Furthermore, they are identified as valid arithmetic and integer types and logical operations.

**Keywords:** pseudosatellite, pseudosatellite radiosystem (PS RS) model, navigation parameter, high-intensity light source, continuous navigation field, unit cell, elevation angle.