



**Г.П. Єрмак, А.В. Варавін, І.В. Попов, О.С. Васильєв, Л.С. Усов**

Інститут радіофізики і електроніки ім. А.Я. Усикова НАН України, Харків

## **РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЮ НАЯВНОСТІ І ШВИДКОСТІ РУХОМОГО СКЛАДУ НА ТЕРИТОРІЯХ СОРТУВАЛЬНИХ ГІРОК**



*Наведені результати створення порівняно недорогих радіолокаційних датчиків, призначених для дистанційного контролю наявності і швидкості залізничних потягів і вагонів на територіях сортувальних гірок в складних погодних умовах. Розроблені системи і методи дистанційного керування і вимірювання параметрів датчиків. Проведені комплексні випробування радіолокаційних датчиків в умовах залізничної сортувальної гірки.*

*Ключові слова: радіолокаційний датчик, міліметрові хвилі, автодинний приймач-передавач, дистанційний контроль, цифрова обробка сигналів.*

Актуальність розробки радіолокаційних датчиків дистанційного спостереження диктується відсутністю на цей час сучасних систем контролю, здатних здійснювати як контроль наявності і розташування залізничних локомотивів і вагонів на територіях залізничних сортувальних гірок, так і вимірювання швидкості їх руху в складних погодних умовах.

Наразі кожне з цих завдань вирішується окремими датчиками оптичного та радіотехнічного типу дії розробки 70–80 років минулого століття, технічний рівень яких не відповідає сучасним вимогам. Недоліками оптичних датчиків є ненадійність роботи в складних погодних умовах (дощ, сніг, погана видимість). Існуючі радіотехнічні датчики зайнятості не дають можливості проводити контроль відцепів різного типу та зайнятості залізничних переїздів, а вимірники швидкості вимірюють швидкість тільки одного відчепа, що істотно обмежує пропускну спроможність сортувальних станцій великої потужності.

© Г.П. ЄРМАК, А.В. ВАРАВІН, І.В. ПОПОВ,  
О.С. ВАСИЛЬЄВ, Л.С. УСОВ, 2009

Сучасні системи безпеки і контролю руху повинні давати більш повну інформацію про рух поїздів та відцепів, особливо у складних погодних умовах. Додатково до традиційних вони мають виконувати ще такі функції:

- ✦ контроль зайнятості залізничних колій та стрілок вагонами різного типу;
- ✦ вимірювання швидкості руху відцепів під час входу та виходу із зони гальмування;
- ✦ контроль мимовільного відчепу вагонів;
- ✦ здатність ідентифікувати різні типи рухомого складу.

Слід зауважити, що існуючі датчики контролю руху залізничного транспорту не тільки не відповідають, але й в принципі не можуть відповідати більшості цих вимог. Тому в останні роки ведуться пошуки інших шляхів розв'язання проблеми надійного контролю за наявністю, рухом і розміщенням рухомого складу на територіях залізничних сортувальних гірок. Найбільшою мірою цим вимогам відповідають вимірювальні системи радіолокаційного типу дії.

Розгляд варіантів побудови радіолокаційних датчиків такого призначення [1] та аналіз су-



часних досягнень у галузях напівпровідникової електроніки надвисоких частот і методів та засобів цифрової обробки радіолокаційних сигналів стали підставою для висновку про можливість розробки радіолокаційних датчиків нового типу і створення їх експериментальних зразків.

Роботи по створенню радіолокаційного датчика поділяються на дві групи:

*перша* – розробка та лабораторні дослідження характеристик приймально-передавального пристрою міліметрового діапазону автодинного типу дії; вдосконалення систем цифрового керування датчиками та спектральної обробки радіолокаційної інформації, розробка системи дистанційного керування датчиками та передачі радіолокаційної і сервісної інформації на диспетчерський пункт;

*друга* – розробка методик випробувань характеристик до галузі застосування, підготовка та проведення комплексних випробувань, спрямованих як на надійне вимірювання технічних характеристик радіолокаційного датчика, так і на оцінку якості роботи датчика на залізничній гірці.

#### ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО РАДІОЛОКАЦІЙНИЙ ДАТЧИК

Радіолокаційний датчик контролю зайнятості ділянки і вимірювання швидкості розроблений для використання в автоматизованій системі розпуску вагонів на сортувальних гірках залізничних станцій. Датчик завдяки своїм технічним можливостям залежно від необхідності забезпечує або контроль зайнятості залізничних стрілок і контроль проходження та мимовільного відчепу вагонів (режим “датчик зайнятості”), або вимірювання швидкості руху відчепів під час входу та виходу із зони гальмування (режим “датчик швидкості”). При заміні антенної системи на антену з ширшою діаграмою спрямованості такі датчики можуть виконувати ще й функцію контролю зайнятості залізничних переїздів.

Датчик може функціонувати в двох режимах: лінійній частотній модуляції (ЛЧМ) або

одночастотній безперервній генерації. Режим ЛЧМ використовується в режимі «датчик зайнятості». Режим одночастотної безперервної генерації використовується при роботі датчика в режимі «датчик швидкості». Перемикання між режимами і настройка параметрів датчика здійснюється дистанційно з диспетчерського пункту по інтерфейсу RS485 з використанням протоколу MODBUS. Управління обміном інформацією з постом управління, формування зондуючого сигналу, збір і обробку даних виконує цифровий сигнальний процесор.

Відповідно до призначення радіолокаційний датчик в цілому має такі найважливіші характеристики:

№ пор.	Загальні характеристики	Од. виміру
1	Центральна частота	36,5 ГГц
2	Діапазон електронного перестроювання частоти	±500 МГц
3	Дальність дії у режимі “датчик зайнятості”	15 м
4	Дальність дії у режимі “датчик швидкості”	25 м
5	Роздільна здатність з дальності, не гірше	1 м
6	Діапазон вимірюваних швидкостей	0,5–35 км/г
7	Середня випромінювана потужність ВВЧ, не більше	0,02 Вт
8	Дальність дії дистанційного керування по каналу RS485	1200 м
9	Зона огляду з азимуту	15°
10	Висота датчика над землею, не менше	1 м
11	Маса	0,7 кг
12	Габаритні розміри (діаметр/довжина)	92/170 мм
13	Напруга живлення	12 В
14	Споживана потужність	10 Вт

На рис. 1 зображений загальний вигляд радіолокаційного датчика. Антена, генератор, керований напругою, плата формування зондуючого сигналу, цифрової обробки і інтерфейсу зв'язку RS-485, встановлені в циліндровий герметичний корпус діаметром 92 мм і довжи-

ною 170 мм, виконаний з дюралюмінію. Діелектрична лінза є одночасно передньою стінкою корпусу.

### ПРИЙМАЛЬНО-ПЕРЕДАВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ДАТЧИКА

Приймально-передавальний пристрій (ППП) є одним із головних вузлів радіолокаційного датчика, від якого залежать основні технічні характеристики: потенціал (тобто фактично дальність дії), роздільна здатність по відстані та швидкості і можливість реалізації ефективних методів обробки радіолокаційних сигналів. Головною особливістю розробленого радіолокаційного датчика є застосування в ньому автодинного ППП з лінійною модуляцією частоти, внутрішнім детектуванням, цифровим управлінням і спектральною обробкою сигналів. Це надало йому нових якостей, котрих немає як в датчиках, що серійно випускаються [1], так і в описаних в літературі автодинних локаторах [2, 3]. Застосування автодинного режиму внутрішнім детектуванням дало можливість спростити конструкцію, зменшити габарити і підвищити надійність ППП і всього датчика. Приймально-передавальні системи автодинного типу найпростіші за конструкцією. Основним елементом таких пристроїв є автогенератор, що працює в режимі випромінювання і прийому власних коливань, відбитих від досліджуваного об'єкта.

Принцип роботи автодинних ППП заснований на зміні амплітуди, частоти і робочого струму автогенератора при дії на нього відбитого сигналу. Реєстрація амплітудного і частотного відгуків здійснюється за допомогою зовнішніх приймальних пристроїв, пов'язаних з приймально-передавальним трактом через направлений відгалужувач (режим зовнішнього детектування сигналів), а реєстрація приростів робочого струму проводиться в ланцюзі живлення автогенератора за допомогою датчиків струму (режим внутрішнього детектування сигналів).

При віддзеркаленні сигналу автодинного ППП від рухомого об'єкта частота автодинного від-



Рис. 1. Загальний вигляд радіолокаційного датчика

гуку дорівнює частоті Допплера. У зв'язку з цим автодинні ППП найбільш широко застосовуються в системах ближньої радіолокації для виміру швидкості і виявлення рухливих об'єктів. Основними ознаками автодинних ППП, що відрізняють їх від гомодинних і супергетеродинних, є наявність автодинного посилення сигналів, що приймаються, і можливість детектування сигналів в ланцюзі живлення автогенератора.

Оскільки головною метою нашої роботи було створення датчика контролю зайнятості, то розробці методів вимірювання дальності за допомогою автодинного ППП приділялася особлива увага. У системах ближньої радіолокації широко використовуваним методом вимірювання дальності є метод з використанням лінійної модуляції частоти генератора. Проте, як показав огляд літературних джерел [4–6], він не був реалізований в автодинних ППП через наявність у спектрі вихідного сигналу компонент, пов'язаних з частотою модуляції автогенератора і паразитною амплітудною модуляцією (ПАМ). У запропонованому радіолокаційному датчику проблема виміру дальності автодинним локатором була вирішена шляхом застосування методів цифрового формування і спектральної обробки сигналів за допомогою одного мікропроцесорного пристрою — цифрового сигнального процесора (ЦСП) [7, 8].

Структурна схема автодинного ППП 8-мм діапазону з лінійною модуляцією частоти і внут-

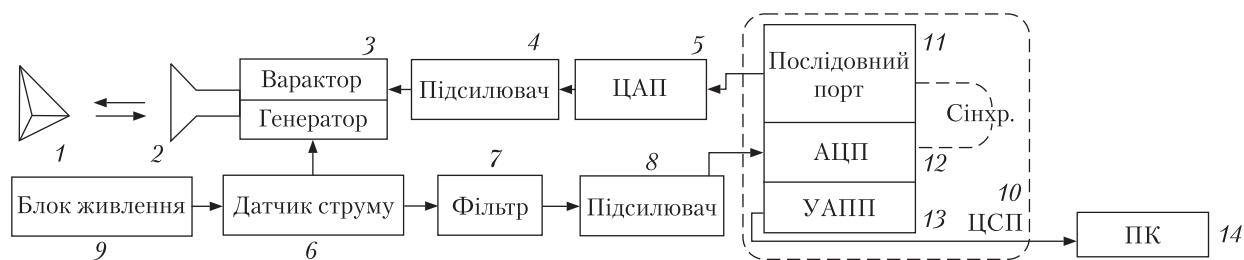


Рис. 2. Структурна схема автодвонірного приймально-передавального пристрою

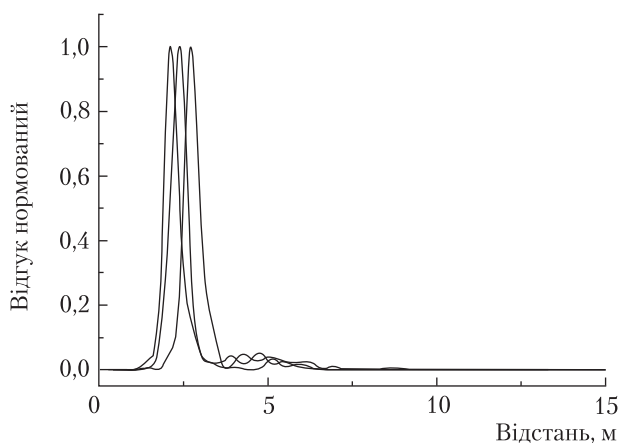


Рис. 3. Спектри сигналів автодвонірного відгуку від короткозамикаючого поршня, відповідні трьом його положенням, віддаленим на 0,3 м

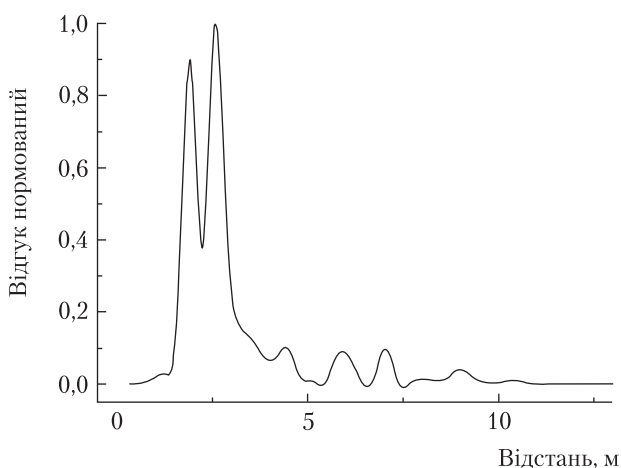


Рис. 4. Спектр вихідного сигналу датчика від двох близько розташованих відбивачів з різними коефіцієнтами віддзеркалення

рішнім детектуванням наведена на рис. 2. До його складу входять: 1 – кутиковий відбивач, 2, 3 – генератор автодвонірного типу на діоді Ганна з варакторним перестроюванням частоти, 4 – підсилювач, 5 – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП), 6 – датчик струму, 7 – смуговий фільтр, 8 – підсилювач різницевої частоти, 9 – блок живлення, 10 – цифровий сигнальний процесор (ЦСП). До складу ЦСП входить комунікаційний послідовний порт 11, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 12 і універсальний асинхронний приймач-передавач (УАПП) 13. ЦСП 10 виконує функції управління системами радіолокаційного датчика, формування і обробки випромінюваного і прийнятого сигналів. У складі сигнального процесора використані блоки, що відповідають за виконання таких функцій:

- ♦ АЦП призначений для оцифрування сигналу різницевої частоти;
- ♦ послідовний порт 11 керує роботою ЦАП 5;
- ♦ УАПП здійснює обмін інформацією блоком індикації і управління або передає її до персонального комп'ютера (ПК) 14;
- ♦ високошвидкісне обчислювальне ядро виконує всі функції цифрової обробки сигналу: спектральний аналіз, цифрову фільтрацію сигналу і формування даних для індикації.

Аналогово-цифровий перетворювач 5 призначений для перебудови частоти генератора Ганна шляхом формування пілкоподібної напруги, яка після посилення підсилювачем 4 подається на варактор 3, що модулює частоту генерації генератора Ганна. Формований таким чином лінійно частотно-модульований радіосигнал вип-

ромінюється антенною системою ППП. Сигнал, відбитий від об'єкта або відбивача, потрапляє назад в генератор. Автодинний ефект реєструється датчиком струму *b*, що вимірює зміну струму в ланцюзі живлення генератора Ганна. Сигнал з датчика струму після фільтрації і посилення поступає на ЦСП *10*. Коли в діаграмі спрямованості антенної системи датчика знаходиться деякий нерухомий об'єкт, в одному з фільтрів аналізатора спектра спостерігається сигнал, амплітуда якого характеризує відбивну спостережуваного об'єкта, а номер фільтра, в якому спостерігається сигнал, характеризує дистанцію від датчика до об'єкта. Аналогічна ситуація буде при спостереженні двох і більше об'єктів. В такому випадку кожному з відбивачів відповідатиме своя спектральна складова.

Застосування ЦСП дає можливість використовувати датчик не лише в режимі виміру дальності, але і в режимі виміру швидкості. Для цього генератор переводиться з режиму ЧМ в режим безперервної генерації.

Дослідження точності виміру та роздільної здатності по дальності автодинного ППП проводилося як на стенді, де як еквівалент траси розповсюдження використовувався відрізок 4-м хвилеводу з рухливим короткозамикачем і хвилеводним атенюатором, так і в польових умовах, де як віддзеркалюючий об'єкт використовувався кутиковий відбивач. Структурна схема автодинного ППП наведена на рис. 3. Як індикатор вихідного сигналу використовувався ПК *14*, який підключався до виходу ППП.

Дослідження точності виміру дальності проводилося шляхом реєстрації сигналів, відбитих від рухомого короткозамикаючого поршня, розташованого в хвилеводному тракті. Поршень за допомогою пристрою переміщення міг рухатися на ділянці хвилеводу довжиною 1 м. Автодинний ППП працював у режимі лінійної модуляції частоти зі смугою перебудови 500 МГц. На рис. 3 наведені експериментально виміряні спектри автодинного відгуку, відповідні трьом положенням рухливого короткозамикаючого поршня у хвилеводному тракті, кож-

не з яких відрізняється на 0,3 м. Ця відстань відповідає теоретичному значенню максимальної точності виміру дальності ППП з лінійною модуляцією частоти при смузі перебудови частоти 500 МГц. Для виміру роздільної здатності ППП по дальності як об'єкти, що відбивають сигнал, використовувалися два кутикових відбивачі з різною здатністю. Відбивачі розташовувалися уздовж траси розповсюдження сигналу ППП.

Відомо, що роздільна здатність радіолокатора визначається як мінімальна відстань між двома цілями, які можна розрізнити. Після отримання відгуку на екрані індикатора датчика у вигляді двох спектрів відстань між відбивачами зменшувалася до значення, відповідного мінімально вирішуваній різниці частот спектрів. На рис. 4 наведено спектр автодинного відгуку від двох близько розташованих кутикових відбивачів з різною здатністю віддзеркалення. Як видно, амплітуда автодинного відгуку для різних відбивачів має різне значення, оскільки ближчий відбивач має менший коефіцієнт віддзеркалення. Рис. 4 ілюструє роздільну здатність автодинного ППП, яка в нашому випадку (при смузі перебудови частоти 500 МГц) складає 0,6 м. Як видно з рис. 3 і 4, у спектрі вихідного сигналу відсутні компоненти, пов'язані з частотою модуляції автогенератора і ПАМ. Таким чином, експериментально показано, що застосування цифрової обробки і формування сигналу модуляції частоти генератора дало можливість вирішити задачу виміру дальності в автодинних ППП.

#### ВИПРОБУВАННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ДАТЧИКА НА СОРТУВАЛЬНІЙ ГІРЦІ

Після проведення всесторонніх лабораторних випробувань радіолокаційного датчика був проведений цикл натурних випробувань на механізованій сортувальній гірці. Мета випробувань – перевірка надійності функціонування датчика в режимах “датчик зайнятості” і “датчик швидкості” при виявленні різних типів ру-

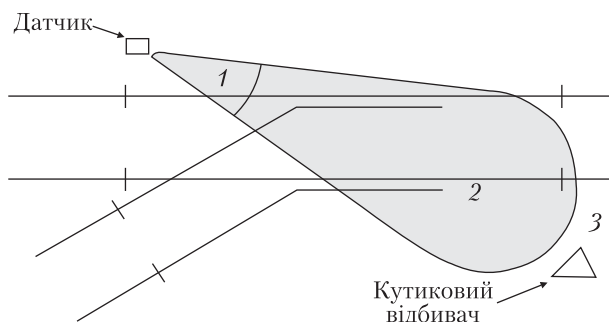


Рис. 5. Схема розташування датчика на залізничній стрілці

хомого складу. Для проведення випробувань було підготовлено технологічне устаткування, до складу якого входив персональний комп'ютер, що використовувався для порівняльного аналізу сигналів, які приходять з радіолокаційного датчика зайнятості і фотоелектронного датчика зайнятості.

Фотоелектронний датчик зайнятості є основним пристроєм контролю проходження рухомого складу на механізованих сортувальних гірках. Сигнал, що формується цим датчиком, блокує перемикання стрілки. Сигнал блокування стрілки подавався на апаратуру порівняльного аналізу. Порівняльні вимірювання сигналів радіолокаційного та фотоелектронного датчиків зайнятості дають можливість зробити висновок про придатність радіолокаційного датчика як пристрою контролю рухомого складу.

При функціонуванні датчика в режимі «датчик зайнятості» прийнято умовне розділення простору між датчиком і кутиковим відбивачем на три просторових зони (див. рис. 5):

1) *неконтрольована зона (1)*. Введення цієї зони необхідне для запобігання помилковим спрацюванням, що виникають у випадку намокання або обмерзання лінзової антени або попадання малорозмірних об'єктів (комахи, птахи) в діаграму спрямованості антенної системи поблизу датчика. Вимірювання рівня відбитого сигналу в цій зоні проводиться, але виключається з розгляду при прийнятті рішення про зайнятість шляхів;

2) *зона відповідальності (2)*. Ця зона знаходиться між зоною 1 і зоною кутикового відбивача.

Збільшення рівня відбитого сигналу в цій зоні вище рівня спрацювання інтерпретується як наявність рухомого складу на залізничній стрілці;

3) *зона кутикового відбивача (3)*. Інформація про рівень сигналу в цій зоні використовується для самотестування датчика за умови відсутності рухомого складу в зоні відповідальності.

Схема розташування датчика на залізничній стрілці та розподіл просторових зон датчика в режимі «датчик зайнятості» показана на рис. 5. Рішення про видачу сигналу зайнятості стрілки приймається на підставі даних про рівні сигналів, відбитих від об'єктів, що знаходяться в зоні 2, і кутикового відбивача, що знаходиться в зоні 3.

На рис. 6 показано розташування датчиків поблизу залізничної стрілки. Розташування радіолокаційного датчика вибрано так, щоб зона його відповідальності співпадала із зоною контролю фотоелектронного датчика. З іншого боку стрілки розташовано кутиковий відбивач, призначений для контролю працездатності радіолокаційного датчика. При настройці датчиків використовувався радіоканал зв'язку WI-FI, що дало можливість проводити настройку і контроль зони дії датчика, знаходячись в безпосередній близькості від нього. Після перевірки функціонування пристрою порівняльного аналізу були проведені спостереження за проходженням рухомого складу з одночасною реєстрацією часу спрацювання фотоелектронного датчика і радіолокаційного датчика.



Рис. 6. Розташування датчиків поблизу залізничної стрілки: 1 – кутиковий відбивач; 2 – радіолокаційний датчик; 3 – фотоелектронний датчик; 4 – залізнична стрілка

В процесі спостережень по контрольованій ділянці пройшло декілька десятків відчепів різного типу. Спостерігалися три типи рухомого складу: тепловоз, критий піввагон, відкритий піввагон (відкрита платформа). До особливостей вимірювань слід віднести істотну різницю в рівнях відбиття сигналів від різних типів рухомого складу. Найнижчий рівень відбиття мали відкриті піввагони, а найвищий — тепловоз. Це пов'язано з тим, що тепловоз має найвищу поверхню розсіяння завдяки великій кількості навісного устаткування, надбудов і інших металевих елементів. Відмінність у рівнях відбиття від різних типів рухомого складу не вплинула на проведення вимірювань. Усі відчепи, що пройшли через контрольовану ділянку, були стійко зареєстровані, показники фотоелектронного і радіолокаційного датчиків співпадали.

При функціонуванні датчика у режимі «датчик швидкості» датчик встановлювався біля гальмівної позиції у напрямі набігаючого рухомого складу відповідно до схеми установки. Гальмівна позиція складається з 2-х шляхових сповільнювачів і призначена для уповільнення рухомого складу і регулювання швидкісного режиму некерованого відчепу. За допомогою персонального комп'ютера і спеціальної програми датчик переводився в режим «датчик швидкості». Візуально проводилася корекція спрямованості датчика, а також настройка порога спрацьовування датчика. Інформація про значення швидкості передавалася на пост управління по двопроводовому інтерфейсу RS485 і використовувалася оператором при управлінні шляховим сповільнювачем для корекції швидкості вагонів.

До складу вимірювального комплексу входили радіолокаційний датчик, два блоки перетворення інтерфейсів, точка бездротового доступу та вимірювач швидкості «РИС-В3» [1]. Установка радіолокаційного датчика проводилася на тимчасовій опорі уздовж залізничної колії у напрямку шляхових сповільнювачів (рис. 7). Контроль швидкості проводили за прямими показаннями радіолокаційного датчика, що відображалися на екрані комп'ютера. Порівняльні ви-

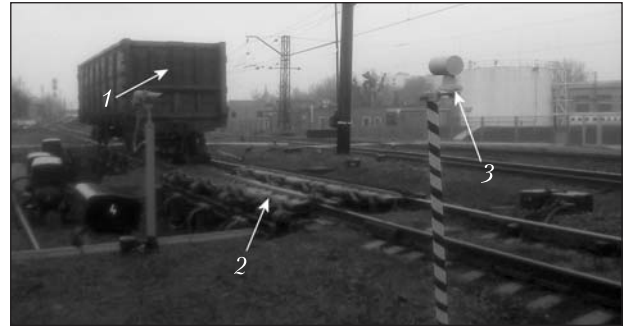


Рис. 7. Розташування датчика швидкості поблизу гальмівної позиції: 1— відчеп; 2— шляхові сповільнювачі; 3— радіолокаційний датчик

мірювання швидкості локомотива одночасно проводилися за показаннями спідометра локомотива та вимірювача швидкості «РИС-В3», а вимірювання некерованого рухомого складу проводилися за показаннями радіолокаційного датчика та вимірювача швидкості «РИС-В3».

В процесі випробувань спостерігалися: локомотив, криті піввагони та відкриті піввагони з різними рівнями ефективної поверхні розсіяння. Відмінність в ефективній поверхні розсіяння впливала тільки на дальність виявлення рухомого складу. В усіх випадках діапазони дистанцій виявлення знаходилися в межах технічного завдання і складали від 12 до 25 метрів. Діапазон швидкостей, що спостерігалися в експерименті, — 5—15 км/год.

За час порівняльних вимірювань показники усіх трьох датчиків співпали, а похибки вимірювань різними способами швидкостей знаходилися в межах точності вимірювання.

## ВИСНОВКИ

Створено радіолокаційний датчик для використання в автоматизованій системі розпуску вагонів, здатний проводити дистанційний контроль наявності рухомого складу на залізничних гірках і стрілках та контроль швидкості відчепів при проходженні гальмівної позиції. Датчики обладнані системами дистанційного керування, діагностики параметрів та передачі радіолокаційної та сервісної інформації на диспетчерський пункт і можуть використовуватися в інформаційних мережах. Перевагою таких датчиків є їх

універсальність, оскільки різні задачі виконуються за допомогою одного типу датчиків, що значно спрощує їх стандартизацію, ремонт та обслуговування. Вони відрізняються значно меншими розмірами, вагою та вартістю від аналогічних датчиків. Виготовлено декілька радіолокаційних датчиків, які пройшли випробування в умовах сортувальної гірки. Випробування підтвердили, що радіолокаційний датчик відповідає проектним технічним характеристикам. Створені радіолокаційні датчики можуть також використовуватися у випадках для запобігання зіткненням і наїзду на перешкоду в залізничному та автомобільному транспорті, рівнемірах і датчиках запобігання зіткненням підймальних кранів.

*Робота виконана в межах інноваційного проекту НАН України “Багатофункціональний радіолокаційний датчик для дистанційного спостереження за наявністю рухомого складу на залізничних гірках, стрілках і переїздах та контролю його швидкості для забезпечення безпеки руху та диспетчерських функцій”.*

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.Н., Михайлов Л.Ф., Париков В.А. и др. Радиолокационный измеритель скорости железнодорожных вагонов на сортировочных горках // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ. — 1982. — № 7. — С. 56–58.
2. Бузыкин В.Т., Носков В.Я. Исследование автодинных характеристик СВЧ генераторов на полупроводниковых диодах // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. — 1992. — № 7. — С. 24–30.
3. Бузыкин В.Т., Носков В.Я. Автодины. Области применения и перспективы развития // Радиотехнические системы миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. — Харьков: Сб. научных трудов ИРЭ АН Украины. — 1991. — С. 38–47.
4. Закарлюк Н.М. Спектр автодинного отклика генератора с частотной модуляцией // Применение радиоволн миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов. — Харьков: Сб. научных трудов ИРЭ АН Украины. — 1992. — С. 56–65.
5. Votoropin S.D., Noskov V.Ya. Analysis of operating regimes of EHF hybrid-integrated autodynes based on Gunn micropower mesaplanar diodes // Russian Physics Journal. — 2002. — V. 45, № 2. — P. 150–162.
6. Votoropin S.D., Ostapenko P.S., and Smolsky S.M. Special features of practical measurement of parameters of

promising frequency-modulated short-range millimeter radars // Russian Physics Journal. — 2006. — V. 49, № 9. — P. 1012–1015.

7. Варавин А.В., Васильев А.С., Ермак Г.П., Попов И.В. Автодинный приёмо-передающий модуль на диоде Ганна с внутреннем детектированием сигнала для радиолокационного датчика с линейной модуляцией частоты // Радиопизика и електроника. — Харьков: Институт радиопизики и електроники НАН Украины. — 2008. — Т. 13, № 3. — С. 546–551.
8. Варавин А.В., Васильев А.С., Ермак Г.П., Попов И.В. Автодинный радиолокатор миллиметрового диапазона с линейной модуляцией частоты // Proceedings of 18<sup>th</sup> International Crimian Conference on Microwaves and Telecommunication Technology”, 8–12 Sept., 2008, Sevastopol, Ukraine, P. 807–808.

Г.П. Ермак, А.В. Варавин,  
И.В. Попов, А.С. Васильев, Л.С. Усов

#### РАДИОЛОКАЦИОННЫЙ ДАТЧИК КОНТРОЛЯ НАЛИЧИЯ И СКОРОСТИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ТЕРРИТОРИЯХ СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

Приведены результаты создания сравнительно недорогих радиолокационных датчиков, предназначенных для дистанционного контроля наличия и скорости железнодорожных локомотивов и вагонов на территориях сортировочных горок в сложных погодных условиях. Разработаны системы и методы дистанционного управления и измерения параметров датчиков. Проведены комплексные испытания радиолокационных датчиков в условиях железнодорожной сортировочной горки.

*Ключевые слова:* радиолокационный датчик, миллиметровые волны, автодинный приёмо-передатчик, дистанционный контроль, цифровая обработка сигналов.

G.P. Ermak, A.V. Varavin,  
I.V. Popov, A.S. Vasilev, L.S. Ussov

#### THE RADAR SENSOR FOR CONTROL OF ROLLING-STOCK PRESENCE AND ITS SPEED ON THE TERRITORY OF GRADING BELTS

Results of the development of rather cheap radar sensors for the remote control of presence and speed of railroad-cars and trains on the territory of grading belts in complex meteorological conditions are presented. The systems and methods of remote control and measurement of sensor parameters are developed. Complex examinations of radar sensors under conditions of grading belt are carried out.

*Key words:* radar sensor, millimeter waves, autodyne transceiver, remote control, digital processing.

Надійшла до редакції 02.03.09.