

**Кондратець В.О.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Мацуї А.М.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

**Артюхов А.М.**

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РАДІОПЕРЕДАВАЧА ІНФОРМАЦІЇ З ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ОБЕРТОВОГО БАРАБАННОГО ОБ'ЄКТА МЕТОДОМ ДИНАМІЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

В промисловості широке розповсюдження отримали обертові об'єкти, з яких виникає необхідність передавати корисні сигнали на їх нерухомі частини. Передачу корисних сигналів з обертових об'єктів, враховуючи їх особливість, неможливо здійснити звичайними радіотехнічними засобами, що вимагає їх удосконалення. З огляду на важливість даної проблеми вона знаходиться на контролі і, зокрема, включена до планів наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету. Метою даної роботи є забезпечення точності передачі сигналу на вихід радіопередавача з врахуванням особливостей обертового об'єкта. Запропоновано метод оптимізації, зокрема метод динамічного програмування, для забезпечення загальних характеристик радіопередавача в напрямі впливу перешкод шляхом нейтралізації їх дії. Оскільки перешкоди в даній задачі різноманітні за природою, то ефект їх компенсації і покращення характеристик пристрою запропоновано оцінювати частинними критеріями оптимізації в кожній стадії. При повній компенсації негативної дії фактору впливу частинний критерій оптимальності приймає значення 1, при відсутності компенсації – 0. У інших випадках частинний критерій оптимальності приймає проміжне значення, яке встановлюється методом експертних оцінок. Результируючий критерій оптимальності дорівнює сумі частинних критеріїв в окремих стадіях. Обмеження на зміну параметрів встановлюються за змістом задачі. В процесі досліджень встановлено особливості обертового об'єкта, радіопередавач подано як об'єкт оптимізації. Критерій оптимальності всього радіопередавача склав 4,65, що відповідає його оптимальності. Як показують теоретичні дослідження, відхилення вихідного сигналу від еталонного значення будуть незначними. Всі перешкоди нейтралізуються на етапі розробки. Вперше виявлено особливості обертового об'єкта, удосконалено узагальнену структуру радіопередавача шляхом вибору значення несучої частоти, амплітудної модуляції, мінімально можливої вихідної потужності та паралельного розташування антен на невеликій відстані, теоретично обґрунтовано підхід удосконалення передачі сигналу з обертового об'єкта в процесі оптимізації умов роботи радіопередавача, що дозволило значно покращити характеристики радіоелектронної апаратури. Запропонований радіопередавач відповідає умовам роботи обертового об'єкта.

**Ключові слова:** великогабаритний барабанний обертовий об'єкт, передача інформації, радіопередавач, оптимізація, умови роботи.

**Постановка проблеми.** Сучасні комплекси безпроводного радіозв'язку на підприємствах використовують безліч різних і все більш складних засобів передачі і прийому різноманітних сигналів. За останні роки в промисловості відбулося практично вибухове зростання використання безпроводних мереж, оскільки безпроводні технології дозволяють зменшити витрати, підвищити продуктивність праці та полегшити обслуговування цього обладнання. Крім того, безпроводні рішення знаходять все більш широке застосування завдяки

їх добре відомим перевагам, таким як більш високий рівень гнучкості і мобільності, а також більш простої установки. Нині в промисловості все ширше розповсюджуються обертові об'єкти, які здебільшого знаходяться на вістрі науково-технічного прогресу, визначають розвинення різних галузей економіки. Нормальне функціонування обертових об'єктів практично не можливе без передачі з них інформації, що визначає їх поточний стан. Однак ефективного методу передачі з них сигналів в даний час не існує. Давно

запропонований радіометод також стосовно обертових об'єктів не розроблено, що в основному, як показує аналіз, зв'язано з особливістю цих об'єктів і специфікою радіопередавальної апаратури, яка їм відповідає. Тому дана проблема, зокрема, включена в наукову тематику Центральноукраїнського національного технічного університету. Публікація виконана в межах наукових досліджень за темою "Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах" (0115U003942). Враховуючи викладене, тема даної публікації є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Областю застосування безпроводних радіомереж в останні роки стали нафтогазова, хімічна, харчова, атомна промисловість, збагачувальна галузь. При передачі сигналу через комплекс радіоелектронних засобів, встановлених на обертовому об'єкті, радіопередавач виступає базовим вузлом.

В останні роки у відкритому друці з'явилося кілька робіт, які спрямовані на покращення характеристик радіопередавача. Пропонується покращувати характеристики радіопередавача новими підходами пригнічення радіоперешкод, використанням кількох антен як на передавачеві, так і на приймачеві, аналізом характеристики сигналу, що приймається, з спектрограмами перешкод. Запропоновані в останній час підходи покращують конкретні радіотехнічні комплекси, однак, як показує аналіз, їх не можливо застосувати для обертових об'єктів. Тому необхідно відшукувати інший підхід. Результативною може виявитись оптимізація характеристик всього пристрою за напрямками впливу перешкод.

Нині накопичено значний досвід формування і вивчення впливу радіоперешкод на радіоелектронні системи. Ця робота продовжується і в теперішній час. Радіоперешкоди прийнято класифікувати за кількома напрямками. В теорії електромагнітних систем розглядаються лише ненавмисні електромагнітні перешкоди. Вони не призначені для цілеспрямованого порушення роботи радіозасобів.

Щодо космічного шуму можливо відмітити наступне. У діапазоні від 9 до 21 МГц космічний шум найбільш відчутний. На частотах до 300 МГц рівень космічних перешкод незначний [1].

Атмосферні радіоперешкоди виникають на частотах до 25 МГц і за рівнем перевищують космічні шуми. На частотах вище 30 МГц енергія радіохвиль від іоносфери не відбивається і шуми від віддалених джерел не формуються. Діапазон

надвисоких частот (НВЧ) практично не піддається грозовим перешкодам [2].

Індустріальні радіоперешкоди в процесі розповсюдження загасають. Загасання тим сильніше, чим вища частота перешкоди. На частотах більших 30 МГц з ними можливо не рахуватись [2].

Станційні перешкоди є особливою частиною індустріальних перешкод. Для позбавлення шкідливого впливу ці перешкоди за рівнем нормуються і практично суттєво не впливають на роботу радіоапаратури. Тобто, на них накладаються обмеження за рівнем сигналу [2].

Контактні перешкоди звичайно виникають на рухомих об'єктах. Флуктуаційна компонента переважає в літаках, а імпульсна – в об'єктах залізничного і автомобільного транспорту [2]. В досліджуваному керованому об'єкті такі перешкоди відсутні.

При оптимізації виду модуляції враховують наступні показники: вплив перешкод на сигнал, що передається при даному виді модуляції; ширину спектру частот, яка займається сигналом даного виду модуляції; коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) радіопередавача. Для неперервних сигналів використовують наступні види модуляції – частотну, фазову, амплітудну і односмугову амплітудну. Фазову модуляцію для радіозв'язку не використовують. Кожний вид модуляції має свої переваги і недоліки.

До переваг частотної модуляції (ЧМ) відносять високу перешкодостійкість, зменшення нелінійних викривлень, що дозволяє покращити якість відтворення сигналу. В режимі ЧМ радіопередавач працює при незмінних амплітудах, що дозволяє підвищити к.к.д. і краще використовувати потужність вихідного каскаду. При широкосмуговій ЧМ спектр сигналу виходить в п'ять-десять разів ширшим, ніж при амплітудній модуляції (АМ). Як наслідок, кількість ЧМ передавачів, які можливо розташувати в тому чи іншому діапазоні хвиль, в п'ять-десять разів менше, ніж при амплітудній модуляції. Це є головним недоліком частотної модуляції.

Погіршення стабільності частоти генератора також складає основний недолік модуляторів на напівпровідникових елементах при ЧМ.

Підсилювальні елементи з АМ, розраховані на максимальну потужність, будуть працювати майже з трикратним недовантаженням. Це є суттєвим недоліком схем АМ.

При АМ можуть з'являтися частотні та нелінійні викривлення. Нелінійні викривлення при АМ мають значно більше значення, ніж частотні. У сучасних

передавачах нелінійні викривлення можливо звести до мінімуму, де вони не перевищують 2...3%. У зв'язку з цим вимогою, яка пред'являється до генераторів з АМ порівняно з підсиленням модульованих коливань, є забезпечення високої лінійності амплітудної характеристики.

В підсилювачах потужності на транзисторах використовують три види модуляції – базову, колекторну і комбіновану. При комбінованій колекторній АМ отримується високий к.к.д. генератора і невеликий коефіцієнт нелінійних викривлень. Тому її доцільно застосовувати для отримання якісної передачі інформаційного сигналу в транзисторних радіопередавачах.

Ряд недоліків АМ можливо ліквідувати за допомогою односмугової передачі корисного сигналу. При односмуговій передачі використання підсилювальних елементів за потужністю покращується у кілька разів порівняно з передачею повного спектра АМ коливань. Односмугова передача звужує спектр частот, що передається, більше ніж вдвічі. Загальний теоретичний виграш за напругою на вході детектора дорівнює 4, а за потужністю – 16. Звуження смуги сигналу, що передається, і відсутність несучої дозволяє більш ефективно використовувати в передавачеві джерело живлення, а в приймачеві збільшити в  $\sqrt{2}$  разів відношення сигнал/шум. Якщо середнє значення к.к.д. двосмугових передавачів складає 20...30%, то у односмугових передавачів він часто підвищується до 70%.

Поряд з перевагами односмугова АМ має і недоліки. Це складність забезпечення точної відповідності несучої частоти передавача і частоти гетеродина, який відтворює коливання несучої частоти в місці прийому. Схема радіопередавача, що працює за принципом односмугової передачі, значно складніша звичайних схем. Дійовим засобом зменшення величини нелінійних викривлень модулюючого сигналу при базовій АМ є використання регулювання. Для отримання максимального значення к.к.д. необхідно застосовувати спеціальні заходи для підвищення середнього значення коефіцієнта модуляції. Для досягнення синхронізму часто використовують налаштування частоти.

Кінцевим каскадом радіопередавача є передавальна антена. Стабільність передачі корисного сигналу антеною можливо охарактеризувати її коефіцієнтом підсилення. Коефіцієнт підсилення антени за певних умов роботи є незмінною величиною, тому передавальна антена не може змінити сигнал, що формується радіопередавачем. Одна і та ж антена з однаковими характеристи-

ками може виконувати як функції передавальної, так і приймальної. Сигнал буде самим великим, коли антени будуть розташовані паралельно одна одній. В реальних умовах роботи радіопередавача здійснюється взаємодія з середовищем, що оточує антену, – це вплив землі, атмосфери та перепон на шляху розповсюдження радіохвилі. Поверхневий промінь ультракоротких хвиль (УКХ) дуже поглинається ґрунтом і місцевими предметами, залежить від рельєфу місцевості. Однак в промисловості умови передачі радіосигналів є практично незмінними.

Отже, використовуючи викладені об'єктивні дані, можливо робити судження щодо удосконалення радіопередавача, який працює на обертових об'єктах.

**Постановка завдання.** Метою роботи є підвищення точності передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах функціонування обертового об'єкта. Сформульована мета роботи зумовлює необхідність розв'язання таких задач: виявити особливості обертового об'єкта; теоретично обґрунтувати підхід удосконалення передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах роботи обертового об'єкта; удосконалити узагальнену структуру радіопередавача.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Нині все частіше виникає необхідність в передачі сигналів з обертових об'єктів на їх нерухомі частини. Різноманітність обертових керованих об'єктів велика, однак вони здебільшого являють собою або масивний барабан, або спіраль, які виконують певні технологічні функції.

Обертовий об'єкт, вносить в роботу радіопередавача свою специфіку, яка відображена на рис. 1. Якість сформованого на виході сигналу визначається точністю функціонування всіх вузлів радіопередавача, що знаходяться під впливом перешкод в основному зв'язаних з обертовим об'єктом. Однією з важливих особливостей обертового об'єкта є відсутність на ньому мережі, що примушує живлення технічних засобів здійснювати від акумуляторів. Це висуває вимогу мінімізації споживання електроенергії. Тому засоби формування сигналу слід використовувати, по-можливості, генераторного типу, досягати найбільшого функціонального спрощення радіопередавача, забезпечувати можливу мінімальну вихідну потужність та найвище значення його к.к.д. Другою важливою особливістю обертового об'єкта є наявність апріорних даних про умови його роботи. Важливою вимогою є забезпечення одночасної роботи кількох радіопередавачів. Тобто, необхідно, по

можливості, забезпечувати вузьку смугу частотного спектру. Ще однією специфічною рисою обертового об'єкта є той факт, що в основному з ним зв'язана дія атмосферних й індустріальних перешкод на радіопередавач. Відомо, що вплив перешкод на повний комплекс радіоелектронних засобів може пригнічуватись як в радіопередавачеві, так і в радіоприймачеві, забезпечуючи нормальний кінцевий результат. Тобто, функції пригнічення радіоперешкод можливо розподіляти між радіопередавачем і радіоприймачем. Виходячи з вимоги економії споживання електроенергії на обертовому об'єкті, функції пригнічення радіоперешкод в радіопередавачеві необхідно максимально звузити, а ті, що реалізуються, бажано вирішувати без витрати електроенергії. Останні функції пригнічення радіоперешкод необхідно реалізувати в межах нерухомої частини, тобто радіоприймача.

Основною задачею тут є формування сигналу на виході радіопередавача обертового об'єкта відповідно сигналу, що передається. Це найкраще можливо здійснити оптимальним радіопередавачем. З рис.1 видно, що для цього необхідно реалізувати шість функцій, точніше п'ять функцій, оскільки джерело сигналу виступає як автономна частина пристрою. Тобто, окремо необхідно створити оптимальне джерело сигналу генераторного типу. Реалізувавши п'ять функцій, притаманних безпосередньо радіопередавачеві, отримаємо оптимальний пристрій. Як видно з рис. 1, кожна функція може реалізуватись як окрема стадія. Тому у даному випадку для оптимізації характеристик радіопередавача доцільно використати метод динамічного програмування. Він не передбачає строгу послідовність виконання

операцій, однак у даному випадку так розв'язати задачу не можливо, оскільки в підходах є перехресні зв'язки. Так, як видно з рис.1, три параметра безпосередньо зв'язані з методом модуляції в радіопередавачеві, а четвертий – стійкість до атмосферних і індустріальних перешкод – може вирішуватись двома підходами – або фізичними обмеженнями, які формуються в середовищі їх створення, або методом модуляції. Тому оптимізацію характеристик радіопередавача доцільно розпочинати з дослідження стійкості до атмосферних і індустріальних перешкод. Потім розглянути оптимізацію виду модуляції, а після цього повернутись до загальної оптимізації радіопередавача, де послідовність операцій вже не має особливого значення. Порядковий номер стадій оптимізації можливо здійснити відповідно табл. 1. Аналіз показав, що оптимізацію в окремих стадіях найкраще здійснювати інваріантним підходом, тобто, методом повної або часткової компенсації впливу перешкоди. У даному випадку відмічені фактори являють собою перешкоди, вплив яких на роботу радіопередавача необхідно нейтралізувати. Підходи інваріантної компенсації дії перешкод на роботу радіопередавача зводяться до визначення і нейтралізації шкідливого впливу. Як показав аналіз, вони досить різноманітні – вибір функціональної структури радіопередавача за мінімальною кількістю складових елементів: забезпечення мінімальної вихідної потужності з врахуванням малої відстані між антенами і їх орієнтацією; гарантування високого значення к.к.д. і достатньої кількості одночасно працюючих радіопередавачів; стійкість проти впливу атмосферних й індустріальних перешкод.



Рис. 1. Особливості обертового об'єкта

Взаємозв'язок між змінними радіопередавача як об'єкта оптимізації, необхідність обмежень і вид обмежень

Порядковий номер стадії оптимізації	Взаємозв'язок між змінними	Необхідність в обмеженнях	Вид обмежень
1	Зб.5→К4→Вих.5	Потрібні	$A_{КП} < A_{КПдоп}; f_{АП} \cdot f_{П} < f_{доп}$
2	Зб.1→К1→Вих.1	Відсутні	–
3	Зб.3→К3→Вих.3	Відсутні	–
4	Зб.4→К3→Вих.4	Відсутні	–
5	Зб.2→К2→Вих.2	Потрібні	$P_{min} = P_{minдоп}$

Як видно з табл. 1, пропонується конкретний порядковий номер стадій оптимізації. Тут же запропоновано зв'язок між змінними радіопередавача як об'єкта оптимізації, вказана необхідність в обмеженнях в кожній стадії та їх вид. Тут змінні Зб.1...Зб.5 відповідно означають функціональну простоту, мінімальну вихідну потужність, максимальний к.к.д. радіопередавача, задану кількість одночасно працюючих радіопередавачів, вплив атмосферних та індустріальних перешкод, К1...К3 відповідно означають вибір оптимальної структури радіопередавача, режиму вихідного каскаду і розташування антен, типу модуляції, а змінні Вих.1...Вих.4 відповідно означають максимально можливу функціональну простоту, мінімальну вихідну потужність, найбільше значення к.к.д., забезпечення необхідної кількості одночасно працюючих радіопередавачів. У трьох стадіях оптимізації обмеження за фізичним змістом задач не виникають, а у двох вони мають місце. Серед них одне обмеження являє собою рівність, а друге – нерівність. Всі обмеження мають різний фізичний зміст. Так, мінімальна вихідна потужність радіопередавача  $P_{min}$  повинна дорівнювати  $P_{minдоп}$ , яке визначається в кожному конкретному випадку. Вплив атмосферних й індустріальних перешкод повинен враховувати  $A_{КП} < A_{КПдоп}; f_{АП} \cdot f_{П} < f_{доп}$ , де відповідно найбільше значення частоти, де атмосферні перешкоди мають суттєвий рівень, індустріальні перешкоди мають суттєвий рівень, найменше значення несучої частоти радіопередавача, а також амплітуда космічних шумів, допустима амплітуда космічних шумів.

При оптимізації частинні критерії оптимальності в окремих стадіях приймаємо в межах 0-1. Коли повністю не ліквідовано вплив перешкоди – 0, а 1 – коли такий вплив ліквідовано повністю. Проміжні значення критерію встановлювалися шляхом експертних оцінок. Загальний критерій оптимальності дорівнює сумі частинних критеріїв в окремих стадіях. Об'єктом оптимізації тут є радіопередавач (рис.2). Вхідною величиною

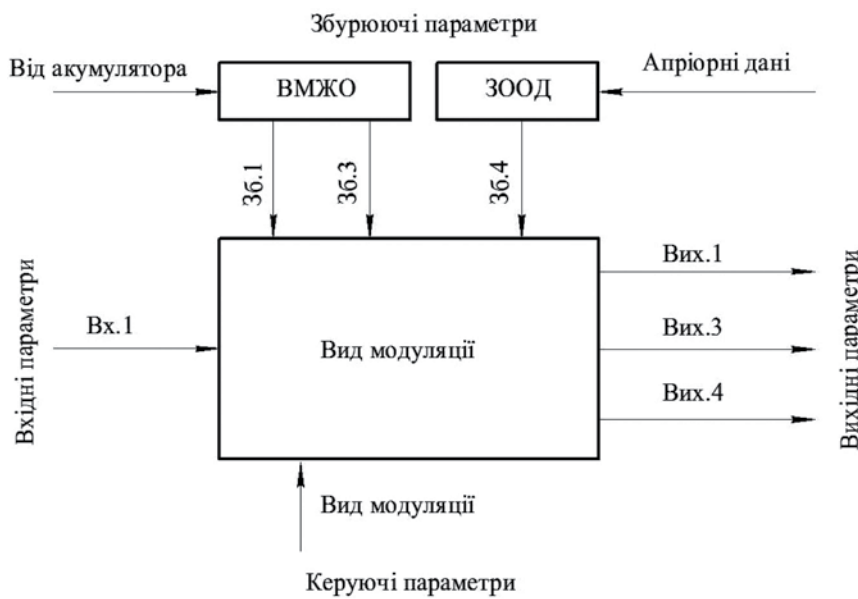
є Вх.1. Вихідними параметрами слугують – Вих.1, Вих.2, Вих.3, Вих.4, Вих.5 – стійкість проти дії атмосферних та індустріальних перешкод Вих.5 і ВихГ – вихідний сигнал, що відповідає поточному значенню вхідного сигналу. Збурюючими факторами тут виступають самі перешкоди – Зб.1, Зб.2, Зб.3, Зб.4, Зб.5 – вплив атмосферних та індустріальних перешкод. Керуючими параметрами тут є наступні: К1, К2, К3, К4 – вибір несучої частоти. Збурюючі параметри можливо компенсувати керуючими. Як видно, збурюючих параметрів на один більше порівняно з керуючими. Це означає, що в загальному підході повну компенсацію збурюючих параметрів в радіопередавачеві здійснити не можливо. Однак, використовуючи особливості керуючих параметрів і функціональних вузлів, що їх реалізують, можливо значно покращити характеристики радіопередавача.

Розглянемо в першу чергу забезпечення перешкодостійкості радіопередавача до впливу атмосферних й індустріальних перешкод. Як відмічено, діапазон надвисоких частот (НВЧ) практично не піддається грозовим перешкодам. Індустріальні радіоперешкоди також сильно загасають на високих частотах. На частотах, що перевищують 30 МГц, з ними можливо не рахуватись. На станційні перешкоди накладаються обмеження за рівнем сигналу. В досліджуваному керованому об'єкті контактні перешкоди відсутні. Отже, при несучій частоті радіопередавача 50 МГц і вище атмосферні й індустріальні перешкоди на нього впливати не будуть. Тоді частинний критерій оптимальності щодо стійкості радіопередавача до впливу атмосферних й індустріальних перешкод складе  $J_{АП} = 1$ .

Розглянемо оптимізацію процесу модуляції кожним з видів, що застосовуються, відповідно рис. 3, де позначення параметрів співпадають з рис. 2. Оптимізацію будемо проводити в межах відмічених трьох показників і за прийнятих критеріїв оптимальності, враховуючи і складність радіоелектронної апаратури, тобто функціональну простоту.



**Рис. 2. Радіопередавач як об’єкт оптимізації**  
 ВМЖО – відсутність мережі живлення на обортовому об’єкті; ЗООД – апріорні дані, зв’язані з обортовим об’єктом



**Рис. 3. Вид модуляції як об’єкт оптимізації**

Зауважимо, що перешкодостійкість роботи радіопередавача вже вирішена немодуляційним підходом, а вибором значення несучої частоти, тобто, реалізована основна перевага ЧМ, коли  $J_{ЧМС}=1$ . Інші переваги ЧМ – певне підвищення к.к.д. і краще використання потужності вихідного каскаду не так суттєві, однак методом експертних оцінок встановлено  $J_{ЧКД}=0,5$ . В п’ять-десять разів збільшення ширини смуги пропускання при ЧМ складають головний недолік даного виду модуляції. Тоді  $J_{ЧШС}=0$ . Погіршення стабільності частоти генератора на напівпровідникових елементах зни-

жує до нуля функціональну простоту і  $J_{ЧФМ}=0$ . Враховуючи, що перешкодостійкість у даному випадку вирішена іншим шляхом, загальний критерій оптимізації ЧМ складе

$$J_{ЗЧМ} = J_{ЧКД} + J_{ЧШС} + J_{ЧФМ} = 0,5, \quad (1)$$

де  $J_{ЧКД}$  – ЧКО відносно к.к.д. при ЧМ;  $J_{ЧШС}$  – ЧКО за шириною смуги частот при ЧМ;  $J_{ЧФМ}$  – ЧКО, зв’язаний з функціональним мінімумом при ЧМ.

Майже трикратне недонавантаження підсилювальних елементів при АМ, розрахованих на максимальну потужність, складають її недолік, однак у даному випадку, коли потужність на виході потрібна невелика, це стає перевагою методу.

Крім того, при АМ необхідно забезпечувати високу лінійність амплітудної характеристики, що пом’якшується використанням комбінованої колекторної АМ. В ній досягається високий к.к.д. і невеликий коефіцієнт нелінійних викривлень. Якість передачі корисного сигналу при цьому буде найвищою, що дозволяє прийняти  $J_{АКД}=1$ . Ширина смуги пропускання при АМ буде вузькою, що відповідає  $J_{АШС}=1$ . При здійсненні комбінованої АМ ускладнюється функціональна структура радіопередавача, тому частинний

критерій оптимальності  $J_{АФМ}$  буде меншим одиниці. Методом експертних оцінок йому встановлено значення 0,65. Тоді загальний критерій оптимальності за АМ складе

$$J_{ЗАМ} = J_{АККД} + J_{АШС} + J_{АФМ} = 2,65. \quad (2)$$

Односмугова АМ звужує спектр частот більше ніж вдвічі ( $J_{АОШС} = 1$ ), покращує у кілька разів використання підсилювальних елементів за потужністю, більш ефективно використовує в передавачеві джерело живлення, забезпечує саме високе значення к.к.д. ( $J_{АОККД} = 1$ ). Однак відрізняється складністю забезпечення відповідності несучої частоти передавача і частоти гетеродина, схема самого радіопередавача набагато складніша звичайної, потребує неперервного підналагоджування ряду параметрів, що в умовах кульового млина здійснити не можливо. Тому  $J_{АОФМ} = 0$ . З врахуванням сказаного загальний критерій оптимальності за односмуговою АМ складає

$$J_{ЗАОМ} = J_{АОККД} + J_{АОШС} + J_{АОФМ} = 2,0. \quad (3)$$

Отже, окремі види модуляції відрізняються різними значеннями загального критерію оптимальності  $J_{ЗВМ}$ . АМ, яка широко використовується практично у всіх діапазонах хвиль має найкраще значення  $J_{ЗВМ} = 2,65$ .

Умова досягнення якомога найменшої вихідної потужності радіопередавача у даному випадку задовольняється достатньо просто. Для цього необхідно побудувати вихідний каскад радіопередавача на малопотужному транзисторі, а передавальну і приймальну антени розташувати паралельно одна одній на невеликій відстані, що в даних умовах легко здійснити. З врахуванням цього частинний критерій оптимальності прийме значення  $J_{МВП} = 1$ .

В цілому загальний критерій оптимальності радіопередавача буде дорівнювати сумі частинних критеріїв оптимальності (ЧКО) в окремих стадіях. Тоді загальний критерій оптимальності радіопередавача з амплітудною модуляцією складе

$$J_{ЗРП} = J_{АПП} + J_{ЗАМ} + J_{МВП} = 4,65, \quad (4)$$

де  $J_{ЗАМ} = J_{АККД} + J_{АШС} + J_{АФМ} = 2,65$ ;  $J_{АПП}$  – ЧКО від дії атмосферних та індустриальних перешкод;  $J_{МВП}$  – ЧКО мінімальної вихідної потужності;

В результаті теоретичного аналізу розкриті особливості обертового керованого об'єкта, зв'язані з відсутністю на ньому мережі живлення та наявністю безпосередньо зв'язаних з ним апріорних даних. Показано, що особливості обертового об'єкта породжують п'ять наслідків, які потребують оптимізації процесу в цілому і оптимізації частинних процесів.

Розглянуто радіопередавач як об'єкт оптимізації і запропоновано застосовувати метод динамічного програмування. Оскільки вихідних, збудуючих і керуючих параметрів багато і вони різні за змістом і походженням, в якості частинних критеріїв оптимальності прийнято 0-1 в залежності від ступеню розв'язання частинної задачі в конкретній стадії. Загальний критерій оптимальності визначався як сума частинних в окремих стадіях оптимізації і приймав значення в залежності від досягнутого рівня розв'язання всієї задачі. В межах радіопередавача здійснювалася одна частинна оптимізація – виду модуляції. Оскільки критерій оптимальності за амплітудним видом модуляції отримав найбільше значення – 2,65 (2), саме АМ і була прийнята для реалізації в даному радіопередавачеві. Інваріантним і квазіінваріантним методами практично нейтралізована дія усіх п'яти перешкод на радіопередавач обертового об'єкта. Не зовсім досягнуто спрощення радіопередавача в наслідок використання комбінованої АМ. Не дивлячись на це, радіопередавач є оптимальним і може забезпечити високу якість передачі сигналу.

З розглянутого витікає, що з діючих на радіопередавач п'яти перешкод (рис.2) всі п'ять з них – 36.1-36.5 нейтралізовані. Критерій оптимальності всього радіопередавача склав 4,65 (4). Враховуючи, що на нього впливало п'ять збудуючих перешкод, то це майже всі вони повністю нейтралізовані. Одна перешкода пригнічена не повністю, однак вона не впливає на рівень корисного сигналу. Такий радіопередавач технічно можливо реалізувати.

**Висновки.** В процесі проведених досліджень виявлені особливості обертового об'єкта, теоретично обґрунтовано підхід удосконалення передачі сигналу з входу на вихід радіопередавача в умовах роботи обертового об'єкта, удосконалено узагальнену структуру радіопередавача. Показано, що запропонований радіопередавач відповідає умовам роботи обертового об'єкта і може забезпечити високу точність передачі сигналу на нерухому його частину. З розглянутих аналогів видно, що вони не володіють такими можливостями і не можуть порівнятися за характеристиками з запропонованим радіопередавачем.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше виявлена особливість обертового об'єкта передачі сигналу на нерухому частину, яка полягає у відсутності на ньому мережі живлення і наявності зв'язаних з ним апріорних даних, що

вимагає забезпечення заданої кількості одночасно працюючих радіопередавачів, мінімально можливої вихідної потужності, максимально можливої функціональної простоти, найбільшого значення к.к.д. радіопередавача та його стійкості до атмосферних й індустріальних перешкод, які є факторами, дестабілізуючими роботу радіоелектронного комплексу, і такими, що визначають напрям впливу на апаратуру, що надало можливість виокремити автономну оптимізацію джерела сигналу генераторного типу, а в межах радіопередавача – оптимізацію виду модуляції і цим самим створити умови підвищення точності формування і передачі сигналу на його вихід.

Удосконалено узагальнену структуру радіопередавача сигналу з обертового об'єкта шляхом вибору значення несучої частоти, амплітудної модуляції, мінімально можливої вихідної потужності та паралельного розташування передавальної

та приймальної антен, що дозволило оптимізувати енергетичні та точнісні показники передаючої частини радіоелектронного комплексу.

Вперше теоретично обґрунтовано підхід удосконалення роботи радіопередавача сигналу з обертового об'єкта шляхом оптимізації його характеристик в напрямку впливу п'яти діючих перешкод досягненням практично повної їх нейтралізації інваріантним і квазіінваріантним підходами, що дозволяє значно підвищити точність передачі сигналу на вихід пристрою.

Практична значущість отриманих результатів полягає в тому, що після розробки оптимального джерела сигналу генераторного типу та радіоприймального пристрою відкривається перспектива удосконалення функціонування обертових об'єктів на якісно новому рівні та розробки аналогічних радіоелектронних засобів для різних умов роботи.

#### Список літератури:

1. Woodruff T. Sullivan. Cosmic Noise: A History of Early Radio Astronomy. Cambridge University Press, 2009. 574 p. DOI: 10.1063/1.3455252.
2. Kenneth W., Michael G. Radio Frequency Interference (RFI) Pocket Guide. Scitech Publishing, 2015. 88 p. DOI: 10.1049/SBEW523E.

#### **Kondratets V.O., Matsui A.M., Artiukhov A.M. OPTIMIZATION OF RADIO TRANSMITTER INFORMATION OPERATION FROM A LARGE-SIZED ROTATING DRUM OBJECT BY DYNAMIC PROGRAMMING METHOD**

*In industry, rotating objects are widespread, from which there is a need to transmit useful signals to their stationary parts. Transmission of useful signals from rotating objects, given their peculiarity, cannot be carried out by conventional radio equipment, which requires their improvement. Given the importance of this problem is under control and, in particular, is included in the research plans of the Central Ukrainian National Technical University. The purpose of this work is to ensure the accuracy of signal transmission to the output of the radio transmitter, taking into account the characteristics of the rotating object. A method of optimization, in particular the method of dynamic programming, is proposed to ensure the overall performance of the radio transmitter in the direction of the influence of interference by neutralizing their action. Since the interferences in this problem are diverse in nature, the effect of their compensation and improvement of the device characteristics is proposed to be evaluated by partial optimization criteria in each stage. In case of full compensation of the negative effect of the influence factor the partial optimality criterion takes the value of 1, in the absence of compensation – 0. In other cases the partial optimality criterion takes an intermediate value, which is set by the method of expert evaluations. The resulting optimality criterion is equal to the sum of partial criteria in separate stages. Restrictions on parameter changes are set according to the content of the problem. In the process of research the peculiarities of the rotating object are established, the radio transmitter is presented as an object of optimization. The optimality criterion of the whole radio transmitter was 4,65, which corresponds to its optimality. As theoretical studies show, deviations of the output signal from the reference value will be insignificant. All interferences are neutralized at the stage of development. For the first time, the features of the rotating object were identified, the generalized structure of the radio transmitter was improved by selecting the value of the carrier frequency, amplitude modulation, the minimum possible output power and the parallel arrangement of antennas at a short distance, the approach to improve the signal transmission from the rotating object in the optimization of operating conditions of the radio transmitter was theoretically justified, which significantly improved the characteristics of radioelectronic equipment. The proposed radio transmitter corresponds to the operating conditions of a rotating object.*

**Key words:** large-sized drum rotating object, information transfer, radio transmitter, optimization, working conditions.