

Зв'язок, телекомунікації та радіотехніка

УДК 621.396

doi: 10.26906/SUNZ.2022.2.124

В. М. Почерняєв¹, М. С. Магомедова², Н. М. Сивкова³

¹ Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Україна

² Київський фаховий коледж зв'язку, Україна

³ Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Україна

ІОНОСФЕРНИЙ ЗВ'ЯЗОК З ВИКОРИСТАННЯМ ШТУЧНИХ ІОНІЗОВАНИХ НЕОДНОРІДНОСТЕЙ

Анотація. У статті досліджується застосування штучних іонізованих неоднорідностей у іоносферному зв'язку. Проаналізовано діапазон 1,5 ... 30 МГц, який використовується у військових системах короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку. У роботі пропонується новий спосіб іоносферного зв'язку, у якому існуючі недоліки іоносферного зв'язку значною мірою усунуті. Описано явище штучної іонізованої неоднорідності у середовищі з великомасштабними штучними неоднорідностями діелектричної проникності. У роботі наведено схему утворення зони покриття від штучної іонізованої неоднорідності. Відзначено перспективні шляхи розвитку радіорозвідки, радіоелектронного подавлення, локації та зв'язку, засновані на процесі нелінійної взаємодії потужного електромагнітного випромінювання діапазону УКХ з іоносферою Землі. Нелінійна взаємодія полів в іоносфері виникає за умови, що величина електромагнітного поля, що падає, перевищує рівень природного поля іоносферної плазми, обумовленого тепловим рухом заряджених частинок. Це відбувається при потужності УКХ рівня кількох десятків ... сотень кВт. Виникнення штучної іонізованої неоднорідності під впливом поля потужної радіохвилі відноситься до розряду істотно нелінійних іоносферних ефектів, при яких енергія електромагнітної хвилі внаслідок наявності зіткнень між електронами, іонами та нейтральними молекулами переходить в енергію руху цих частинок. При збільшенні потужності падаючої електромагнітної хвилі відбувається якісний стрибок у структурі штучної іонізованої неоднорідності. Утворюється нестаціонарна неоднорідна структура, що складається з витягнутих уздовж геомагнітного поля неоднорідностей із різними поперечними розмірами. Поперечні розміри великомасштабних неоднорідностей лежать у межах від 50 ... 100 м до 1 ... 10 км. Поздовжні розміри перевищують поперечні у десятки разів. Дрібномасштабні неоднорідності мають поперечні розміри менше довжини падаючої хвилі і становлять 1 ... 30 м. Поздовжні розміри цих неоднорідностей перевищують поперечні в сотні ... тисячі разів. Особливістю дрібномасштабних штучних іонізованих неоднорідностей є їхня здатність інтенсивно розсіювати УКХ. Оскільки висота штучної іонізованої неоднорідності може досягати ~200 км і вище над поверхнею Землі, можна використовувати штучні іонізовані неоднорідності для далекого загоризонтного зв'язку. Сигнали, розсіяні на штучній іонізованій неоднорідності, можуть бути прийняті на поверхні Землі тільки тими приймачами, які розташовані в межах витягнутої магнітношироїтної області. Довжина та ширина зони на поверхні Землі залежать від геомагнітних, радіофізичних та інших факторів. У статті проведено розрахунок рівня випромінюваної потужності джерела, у якому утворюється штучна іонізована неоднорідність. Визначено випромінювану потужність джерела, за якої починає відігравати роль нелінійний іоносферний ефект.

Ключові слова: іоносфера, штучна іонізована неоднорідність, короткохвильове радіовипромінювання, нелінійний іоносферний ефект, ультракороткі хвилі.

Вступ

Побудова короткохвильових радіо та іоносферних систем зв'язку пов'язано з низкою труднощів, обумовлених характером поширення радіохвиль у цьому діапазоні частот. Однією з основних причин є те, що висока надійність зв'язку на коротких хвилях не може бути гарантована на великій відстані (більше 50 км). Можливість організувати зв'язок великою мірою залежить від кількох факторів, таких як доба, пора року, погодні умови, сонячна активність, потужність випромінювання. Можливість здійснення надійного радіозв'язку особливо актуальна при використанні короткохвильової радіо та іоносферної апаратури зв'язку у військових цілях. Тому, внаслідок зміни умов поширення радіохвиль та рівнів випадкових перешкод існує необхідність адаптації короткохвильових радіо та іоносферних засобів до

цих змін, що є складним науково-технічним завданням. Завдання полягає в тому, як зробити цей зв'язок настільки ж надійним, як космічна, радіорелейна або провідна. Причиною ненадійності зв'язку на коротких хвилях є іоносфера, на якій і ґрунтуються дані типи зв'язку - короткохвильовий радіозв'язок та іоносферний зв'язок. Іоносфера, маючи досить складну будову, під дією сонячного випромінювання та добового обертання Землі постійно змінює свій стан, тим самим постійно змінюючи властивість відбивати і поглинати короткі хвилі. Крім мінливості іоносфери, на надійність зв'язку великий вплив має також і радіоперешкоди різного роду.

Але найскладніше і поки що не до кінця вирішене завдання – це адаптація засобів зв'язку до динаміки іоносфери. Для надійного короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку необхідно, щоб зв'язок завжди працював на так званій оптимальній

частоті. Саме її пошук, визначення та розрахунок становить найбільшу складність. Накопичений величезний експериментальний матеріал з поширення коротких радіохвиль дозволило встановити оптимальну частоту для різних годин доби та пори року. Це стосується короткохвильового радіозв'язку. В іоносферному зв'язку для усунення існуючих недоліків пропонується здійснити нагрівання електромагнітним випромінюванням певної області іоносфери.

Аналіз піддіапазонів коротких радіохвиль. Проаналізуємо діапазон 1,5 ... 30 МГц, що використовуються у військових системах короткохвильового радіо та іоносферного зв'язку.

Піддіапазон частот 1,5 ... 3 МГц є «нічним». Вдень зв'язок на ньому можливий тільки з найближчими кореспондентами.

Піддіапазон частот 5 ... 8 МГц багато в чому схожий з піддіапазоном 1,5 ... 3 МГц, але на відміну від останнього вдень можлива дальність зв'язку на відстані до 2000 км. Зона мовчання незначна і становить кілька десятків кілометрів. У нічні години можливо практично зв'язок з будь-якої точки земної кулі. Години зміни часу доби (захід/схід) найбільш зручний для далеких сеансів зв'язку. Атмосферні перешкоди менш виражені, ніж у діапазоні 1,5 ... 3 МГц.

У піддіапазоні частот 10 ... 15 МГц у періоди сонячної активності можливі сеанси зв'язку вдень практично з будь-якою точкою земної кулі. Влітку радіозв'язок у цьому діапазоні частот буває цілодобовим, за винятком окремих днів. Зона мовчання вночі має відстань 1500 ... 2000 км, і тому можливі лише далекі сеанси зв'язку. У денний час дальності зв'язку зменшуються до 400 ... 1000 км.

Піддіапазон частот 27 ... 30 МГц придатний для зв'язку у світлий час доби і зазвичай відкривається на кілька годин, днів або тижнів, особливо при зміні сезонів, тобто восени та навесні. Зона мовчання досягає 2000 ... 2500 км. Це зумовлено тим, що при використанні даного піддіапазону кут відбитої хвилі повинен бути малим по відношенню до іоносфери, інакше радіохвилі матимуть велике згасання в іоносфері або проходять крізь іоносферу в космічний простір. Малі кути випромінювання відповідають великим стрибком радіохвилі та, відповідно, великим зонам мовчання. У періоди максимуму сонячної активності можливий зв'язок і вночі.

Тому у роботі пропонується спосіб іоносферного зв'язку з використанням штучних іонізованих неоднорідностей (ШН), при якому недоліки існуючого іоносферного зв'язку значною мірою усуваються.

Метою роботи є розрахунок основних параметрів випромінювача, що утворює ШН в іоносфері, зони покриття та можливості застосування такого іоносферного зв'язку у військовій справі.

Основний текст

Теоретична частина. Зазначимо, що незважаючи на експериментальні дослідження іонізованих неоднорідностей, питання точності розрахунків цього явища для практики залишається відкритим. Як і у разі природної іонізованої неоднорідності у

формуванні відбитого багатопробеневого сигналу від ШН бере участь весь спектр великомасштабних неоднорідностей електронної концентрації модифікованої іоносфери. В умовах застосування складної модуляції потужного короткохвильового радіовипромінювання зміни низькочастотної складової спектру іоносферних неоднорідностей призводять до корінних змін структури багатопробеневого відбитого сигналу.

Явище ШН може бути описано як поширення коротких радіохвиль у середовищі з великомасштабними штучними неоднорідностями діелектричної проникності. Без урахування поляризаційних ефектів відповідне хвильове рівняння має вигляд [1]:

$$\Delta E + k_0^2 [\bar{\epsilon}(\vec{r}, E_b(\vec{r})) + \Delta \epsilon(\vec{r}, E_b(\vec{r}))] E = 0, \quad (1)$$

де $E_b(\vec{r})$ – просторовий розподіл поля хвилі накачування, що визначає зміни у структурі діелектричної проникності іоносфери при нагріванні її потужним короткохвильовим радіовипромінюванням [1].

Як і в умовах природної іонізованої неоднорідності, розподіл електронної концентрації модифікованої іонізованої неоднорідності є випадковим локально стаціонарним за простором і часом процесом, що припускає багатопробеневе поширення коротких радіохвиль. Відмінність ШН від природного явища полягає лише у специфіці як середніх, так і флуктуаційних характеристик діелектричної проникності штучно модифікованої іоносфери [2].

Нелінійна взаємодія полів в іоносфері виникає за умови, що величина електромагнітного поля, що падає, перевищує рівень природного поля іоносферної плазми, обумовленого тепловим рухом заряджених частинок. Це відбувається при потужності УКХ рівня кількох десятків ... сотень кВт. Виникнення ШН під впливом поля потужної радіохвилі відноситься до розряду суттєво нелінійних іоносферних ефектів (див. формулу (1)), за яких енергія електромагнітної хвилі внаслідок наявності зіткнень між електронами, іонами та нейтральними молекулами переходить в енергію руху цих частинок.

Підвищення температури частинок, по-перше, електронам, призводить до двох основних процесів, що відбуваються в іоносфері: зміна балансу іонізації-рекомбінації та витіснення електронів із нагрітої області. Перший процес відіграє основну роль у нижній іоносфері в E -шарі ($h \sim 140 \dots 160$ км), другий - верхній іоносфері у F -шарі ($h \sim 200 \dots 220$ км). Зміна балансу іонізації призводить до зростання електронної концентрації. Витіснення електронів призводить, навпаки, до зменшення концентрації. Области з обуреною концентрацією розширюються вгору та вниз, утворюючи ШН. Горизонтальний розмір ШН визначається шириною діаграми спрямованості антени передавача, а вертикальний - потужністю нагріву та фоновими умовами на висоті нагріву.

При збільшенні потужності падаючої електромагнітної хвилі відбувається якісний стрибок у структурі ШН. Утворюється нестационарна неоднорідна структура, що складається з витягнутих уздовж геомагнітного поля неоднорідностей із різними поперечними розмірами. Поперечні розміри

великомасштабних неоднорідностей лежать у межах від 50 ... 100 м до 1 ... 10 км. Поздовжні розміри перевищують поперечні у десятки разів. Дрібномасштабні неоднорідності мають поперечні розміри менше довжини падаючої хвилі і становлять 1 ... 30 м. Поздовжні розміри цих неоднорідностей перевищують поперечні в сотні ... тисячі разів.

Розвиток витягнутих неоднорідностей відбувається під час порядку одиниць ... десятків секунд. Релаксація ШІН після вимкнення падаючої хвилі триває дещо більше. Тому, потужність, необхідна для створення витягнутих неоднорідностей більше потужності, необхідної для підтримки їх існування.

Крім того, штучна турбулізація плазми призводить до виникнення плазмових хвиль та штучного радіовипромінювання. Виникає додаткова іонізація іоносфери, що призводить до оптичного світіння та НВЧ випромінювання.

Сигнали УКХ діапазону, що розповсюджуються через турбулентні ШІН, частково розсіюються на

цьому утворенні. Розсіяння має анізотропний характер. Максимум розсіювання знаходиться в ШІН, а вісь спрямована вздовж поздовжньої складової геомагнітного поля. Розсіяний на ШІН сигнал може бути прийнятий тільки в певних районах. Слід зазначити, що вздовж лінії геомагнітного поля дрібномасштабні неоднорідності з поперечними розмірами $L_{\perp} \approx \lambda / 2 \sin \theta$, де λ - довжина хвилі, θ - кут між напрямком випромінювання джерела електромагнітних хвиль та віссю області перевипромінювання, яка формує «пляму» (зону покриття) на поверхні Землі, і поздовжніми розмірами $L_{\parallel} \approx L_{\perp}$ сильно витягнуті (рис. 1). Для сигналів із частотою, що лежить у нижній частині УКХ діапазону, зона на поверхні Землі має ширину ~50 ... 150 км (залежить від розмірів ШІН) та довжиною ~2000 км (залежить в основному від висоти ШІН). Розсіювальна здатність ШІН визначається багатьма умовами - параметрами нагріву, частотою сигналу. Зі збільшенням частоти сигналу ефект зменшується.

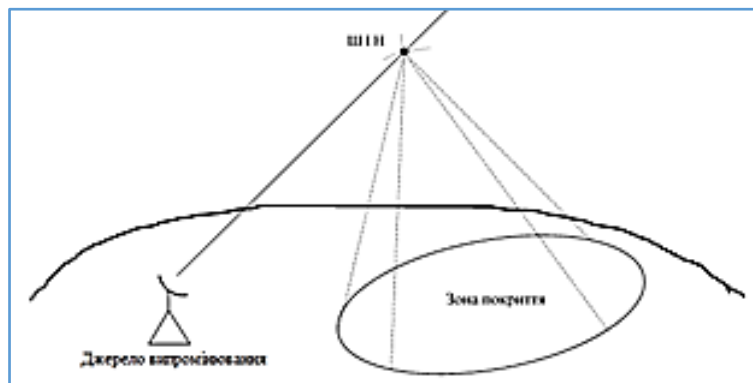


Рис. 1. Схема утворення зони покриття від штучної іоносферної неоднорідності

Особливістю дрібномасштабних ШІН є їх здатність інтенсивно розсіювати УКХ. Оскільки висота ШІН може досягати ~200 км над поверхнею Землі є можливість використовувати ШІН для далекого загоризонтного зв'язку, який має назву в термінах ІТУ - іоносферний зв'язок. Сигнали, розсіяні на ШІН, можуть бути прийняті на поверхні Землі лише тими приймачами, які розташовані в межах витягнутої в магнітно-широтному напрямку області. Довжина та ширина зони покриття на поверхні Землі залежать від геомагнітних, радіофізичних та інших факторів.

Так, при створенні ШІН у F -шарі довжина зони покриття може становити до 3000 км, а ширина ~200 км. Площа, що охоплюється наземною «плямою», становить $\sim 6 \cdot 10^5$ км². Зазначимо, що моніторинг геофізичної обстановки можна здійснювати, використовуючи низькоорбітальні штучні супутники Землі.

Описаний підхід дозволяє здійснювати:

- подальше виявлення малопомітних цілей у повітрі та на морі (загоризонтна радіолокація) на основі штучних плазмових відбивачів (засоби наддальньої радіолокації);

- побудова системи іоносферно-тропосферного зв'язку (нова комбінована система зв'язку УКХ) та

загоризонтної радіолокації, заснованих на використанні розсіювальних властивостей ШІН, що виникають при нагріванні іоносфери потужним радіовипромінюванням (комплексами типу HAARP);

- виявлення та ідентифікацію підземних об'єктів спеціального призначення (заглиблені командні пункти, склади з хімічною, бактеріологічною, ядерною зброєю, ракетні шахти), підземні комунікації.

В цілому, формування ШІН при переході обуреної області іоносфери в якісно новий стан на основі довготривалих структур, енергія яких запасється в метастабільних рівнях молекул повітря, дозволяє дестабілізувати функціонування радіоелектронної апаратури. В даний час необхідна подальша розробка, вдосконалення принципів побудови, формування методологічного апарату розрахунку основних тактико-технічних характеристик:

- засобів та комплексів радіоподавлення радіозв'язку та радіолокації, що використовують нагрівання іоносфери потужним короткохвильовим радіовипромінюванням;

- нових засобів у радіорозвідці, радіолокації, зв'язку, радіоелектронній боротьбі та постановці перешкод, заснованих на нових наукових даних про фізичні механізми впливу електромагнітного випромінювання на різні шари атмосфери.

Розрахункова частина. Нелінійна реакція іоносфери проявляється при перевищенні падаючого електромагнітного поля джерела випромінювання власного поля іоносфери, обумовленого тепловою енергією заряджених частинок іоносферної плазми. Проведемо розрахунок рівня випромінюваної потужності джерела, у якому утворюється ШПН. Запишемо діелектричну проникність ε іонізованого газу [3]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{n_e e^2}{m(\omega^2 + \nu^2)} - j \frac{n_e e^2 \nu}{\omega m(\omega^2 + \nu^2)}, \quad (2)$$

де n_e – концентрація електронів; ω – кругова частота джерела випромінювання; ν – частота зіткнень; m – маса електрона; e – заряд електрона.

З формули (2) видно, що якщо становить $\nu \sim E^2$, то величина ε починає залежати від величини напруженості електричного поля, що свідчить про прояву нелінійних ефектів.

Визначимо випромінювану потужність джерела, при якій починають грати роль нелінійні ефекти. Середня щільність потоку потужності p на висоті h записується як:

$$p = \frac{P_0 \cdot \text{КНД}}{4\pi h^2}, \quad (3)$$

де P_0 – потужність випромінювача (передаючого пристрою); КНД – коефіцієнт спрямованої дії передавальної антени.

Відомо, що [3]:

$$P = \frac{1}{2} E \cdot H, \quad (4)$$

де E та H – амплітуди напруженості електричного та магнітного полів. На відстані $h \gg \lambda$ маємо:

$$\frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = 120\pi, \text{ Ом}. \quad (5)$$

Тоді, враховуючи (3), (4), (5) маємо:

$$p = \frac{60 P_0 \cdot \text{КНД}}{h^2}. \quad (6)$$

Визначимо з (6) значення $P_0 \cdot \text{КНД}$:

$$P_0 \cdot \text{КНД} = \frac{p \cdot h^2}{60}. \quad (7)$$

В інтервалі частот 3 ... 10 МГц та для висот $h=80 \dots 140$ км отримуємо з (7) наступне наближене значення: $P_0 \cdot \text{КНД} = 10^6 \dots 10^8$ Вт.

Значимо, що вибір частот у діапазоні 3 МГц < f < 10 МГц визначається наступним чином.

1. Критична концентрація електронів $n_e^{\text{кр}} \sim f^2$. Найбільш сильний вплив джерело випромінювання надає області іоносфери, де концентрація електронів близька до критичної, але менше її. Тому нижня межа діапазону частот пов'язана з можливістю впливу на нижні шари іоносфери D -шару, для якого концентрація електронів знаходиться в діапазоні $n_e \approx 10^3 \dots 10^4 \text{ см}^{-3}$, а верхня межа - з впливом на E - і F -шари іоносфери, для яких $n_e \approx 10^5 \dots 10^6 \text{ см}^{-3}$.

2. Величина питомої потужності випромінювання на висоті h визначається за формулою (3).

Щільність потоку потужності, що перевипромінюється ШПН в результаті розрахунку наступна:

$$p \approx \begin{cases} 10^2 \dots 10^3, \text{ Вт/м}^2, h = 80 \text{ км.} \\ 1 \dots 10, \text{ Вт/м}^2, h = 140 \text{ км.} \end{cases}$$

Як показали розрахунки, наявність вільних електронів навіть невисокої концентрації $n_e = 10^3 \dots 10^6 \text{ см}^{-3}$, полегшує можливість створення ШПН при впливі потужного електромагнітного випромінювання. При цьому частота випромінювання грає визначальну роль. Існує граничне значення потужності джерела, починаючи з якої виникає сильне обурення іоносфери. Умовно пороговою можна вважати потужність близько десятків ... сотень кВт.

Таким чином, існує граничне значення потужності джерела випромінювання, починаючи з якої в результаті потужного електромагнітного впливу в іоносфері на висотах 80 ... 220 км, залежно від частоти випромінювання, виникає сильне обурення іоносфери та формується просторові області збудженої іоносфери з різко зміненими фізичними параметрами.

З розрахунків випливає, що виключно серйозні вимоги при практичній реалізації мобільної цифрової іоносферної станції, здатної формувати ШПН, пред'являються до антени, що передає, і до передавального пристрою. Розгляд цих питань виходить за рамки цієї статті.

Висновки

Один із перспективних шляхів розвитку радіорозвідки, радіоелектронного подавлення, локації та зв'язку заснований на процесі нелінійної взаємодії потужного електромагнітного випромінювання діапазону УКХ з іоносферою Землі. Технічною реалізацією цього напрямку є створення мобільної цифрової іоносферної станції, що використовує ефект ШПН. Така станція є станцією подвійного призначення і може використовуватись:

- у військових конфліктах і бойових діях;
 - в умовах надзвичайних ситуацій, як при екологічних і техногенних катастрофах, так і при протидії загрози тероризму;
 - в інтересах трансляції TV програм на територіях, неконтрольованих державою або на території, поза юрисдикцією держави власника такої станції.
- У ході бойових дій така мобільна цифрова іоносферна станція може виконувати такі завдання:
- організація передачі циркулярних повідомлень на великі території, у тому числі за територією, яка не підконтрольна нашим військовим формуванням;
 - встановлення радіозв'язку з N кореспондентами без залучення ресурсів супутникового зв'язку (оренди каналів або стовбурів штучних супутників Землі, які не контролюються державою);
 - постановка перешкод на великих територіях радіовипромінюючим засобам різного призначення та організація системи радіоелектронного подавлення;
 - збирання розвідданих від радіозасобів, розміщених на великих відстанях і які охоплюють великі території;

– передача необхідних даних диверсійно-розвідувальним групам, розподілених на значних за віддаленістю ділянках місцевості.

Моніторинг та виявлення ШПН є дорогим заходом, зумовленим необхідністю застосування потужних передавачів та антен з високими характеристиками спрямованості.

Виявлення здійснюється за ефектом розсіювання радіохвиль на неоднорідностях електронної концентрації або за допомогою супутників радіонавігаційних систем.

Як показує аналіз перспектив розвитку військового зв'язку, наприклад, у роботі [4] зазначено, що реалізація нових технологій у військовій техніці радіозв'язку дозволяє:

– створити високоефективну інтегровану автоматизовану систему зв'язку та управління військами та зброєю;

– здійснити глибоку уніфікацію функцій, що реалізуються засобами цифрового радіозв'язку та високий рівень взаємозамінності типових перепрограмованих модулів.

Створенню нових мобільних радіотехнічних систем НВЧ діапазону присвячена робота [5]. У роботах [4-8] обґрунтовується шлях розвитку засобів зв'язку у напрямі розробок комбінованих станцій за типами зв'язку. Тому, науково-технічним результатом щодо використання ефекту ШПН є створення мобільної цифрової іоносферної станції, у комбінації з іншими типами зв'язку. Це дозволяє організувати мережі радіозв'язку в різноманітних діапазонах частот, систему радіоелектронної боротьби та радіоелектронного подавлення, збирання розвіданих та постановку перешкод, що охоплюють територію в тис.км² без використання бортових ретрансляторів штучних супутників Землі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гинзбург В.Л. Распространение электромагнитных волн в плазме. - М.: Наука, 1967.
2. Алимов В. А., Ерухимов Л. М. // Изв. ВУЗов. Радиофизика, 1995, т. 38, №12. - С. 1227-1235.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. - М.: Наука, 2009.
4. Почерняев В.Н. Состояние и направления развития мобильных цифровых радиорелейных систем/ В.Н. Почерняев, В.С. Повхлеб // Озброєння і військова техніка, 2018. - №1(53). -С.183-188.
5. Почерняев В.Н. Состояние и направления развития мобильных цифровых тропосферных систем связи/ В.Н.Почерняев, В.С. Повхлеб // Озброєння і військова техніка, 2018. - №2(54). -С.51 - 60.
6. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://www.comsoc.org/publications/magazines/ieee-communications-standards-magazine/cfp/wireless-and-radio-communications>
7. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://milcom2021.milcom.org/technical-program/plenary-panels>
8. [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://globecom2021.ieee-globecom.org/program/industry-panels#ipa-05>

Received (Надійшла) 18.03.2022

Accepted for publication (Прийнята до друку) 11.05.2022

Ionospheric communication using artificial ionized inhomogeneity

V. Pochernyaev, M. Mahomedova, N. Syvkova

Annotation. The article investigates the use of artificial ionized inhomogeneity in ionospheric communication. The range of 1.5 ... 30 MHz used in military systems of shortwave radio and ionospheric communication has been analyzed. The paper proposes a new method of ionospheric communication, in which the existing shortcomings of ionospheric communication are largely eliminated. The phenomenon of artificial ionized inhomogeneity in a medium with large-scale artificial inhomogeneities of the permittivity is described. The paper presents a scheme for the formation of a coverage zone from an artificial ionized inhomogeneity. Promising ways of developing radio reconnaissance, electronic suppression, location and communications based on the process of nonlinear interaction of powerful electromagnetic radiation in the VHF range with the Earth's ionosphere are noted. Nonlinear interaction of fields in the ionosphere arises under the condition that the magnitude of the incident electromagnetic field exceeds the level of the natural field of the ionospheric plasma, due to the thermal motion of charged particles. This happens at VHF power levels of several tens ... hundreds of kW. The emergence of an artificial ionized inhomogeneity under the influence of a powerful radio wave field belongs to the category of essentially nonlinear ionospheric effects, in which the energy of an electromagnetic wave, due to the presence of collisions between electrons, ions, and neutral molecules, is converted into the energy of motion of these particles. With an increase in the power of the incident electromagnetic wave, a qualitative jump occurs in the structure of the artificial ionized inhomogeneity. A non-stationary inhomogeneous structure is formed, consisting of inhomogeneities elongated along the geomagnetic field with different transverse dimensions. The transverse dimensions of large-scale inhomogeneities range from 50 ... 100 m to 1 ... 10 km. Longitudinal dimensions exceed transverse dimensions by tens of times. Small-scale inhomogeneities have transverse dimensions less than the length of the perturbing wave and amount to 1 ... 30 m. The longitudinal dimensions of these inhomogeneities exceed the transverse dimensions by hundreds ... thousands of times. A feature of small-scale artificial ionized inhomogeneity is their ability to intensively scatter VHF. Since the height of an artificial ionized inhomogeneity can reach ~200 km and higher above the Earth's surface, it is possible to use artificial ionized inhomogeneity for long-range over-the-horizon communications. Signals scattered by an artificial ionized inhomogeneity can be received on the Earth's surface only by those receivers that are located within the region extended in the magnetic latitude direction. The length and width of the zone on the Earth's surface depend on geomagnetic, radiophysical and other factors. The article calculates the level of radiated power of the source, at which an artificial ionized inhomogeneity is formed. The radiated power of the source is determined, at which the nonlinear ionospheric effect begins to play a role.

Keywords: ionosphere, artificial ionized inhomogeneity, shortwave radio emission, nonlinear ionospheric effect, VHF.