

[http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/AD736.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD736.pdf)– Data dostupa: fevral 2014. – Zagl. sekрана.

6. Pochvy. Metody opredeleniya vlazhnosti, maksimalnoy gigroskopicheskoy vlazhnosti i vlazhnosti ustoychivogo zavyadaniya rasteniy: Mezhhgosudarstvennyy standart GOST 28268-89. – [Deystvuyushchiy ot 2006-01-23]. – M.: Standartinform, 2006. – 8 s.

7. Selivanov M.N. Kachestvoizmereniy: Metrologicheskaya spravochnaya kniga/ M.N. Selivanov, A.E. Fridman, Zh.F. Kudryashova. – L.: Lenizdat, 1987. – 295 s.

#### Аннотации:

Розроблено та досліджено макетний зразок засобу вимірювального контролю вологості ґрунту. В результаті експериментальних досліджень вимірювача встановлено його основні метрологічні характеристики: чутливість по вологості, рівень власних шумів вимірювача, похибка апроксимації

експериментальних даних та значення основної абсолютної похибки.

**Ключові слова:** вологість, чутливість, макетний зразок, вимірювач, точність.

Разработан и исследован макетный образец средства измерительного контроля влажности почвы. В результате экспериментальных исследований измерителя установлены его основные метрологические характеристики: чувствительность по влажности, уровень собственных шумов измерителя, погрешность аппроксимации экспериментальных данных и значение основной абсолютной погрешности

**Ключевые слова:** влажность, чувствительность, макетный образец, измеритель, точность.

The model sample of the soil moisture meter has been designed and investigated. The following metrological characteristics: sensitivity to the moisture, the noise level of the meter, the error of the experimental data approximation and maximum value of the relative error have been calculated, which were based on the laboratory experimental studies.

**Keywords:** humidity, sensitivity, model sample, meter, accuracy.

УДК 621.371.3

ШРАМКО Н.А., магістр (ДонНТУ)  
МОЛОКОВСЬКИЙ І.О., к.т.н. (ДонНТУ)  
ШЕБАНОВА Л.О., к.т.н., доцент (ДонНТУ)

### Моделювання впливу перешкод при розповсюдженні радіохвиль в умовах обмеженого простору

Shramko N.A., master (DonNTU)  
Molokovskiy I.O., Cand. of Eng. Sc. (DonNTU)  
Shebanova L.A., Cand. of Eng. Sc., Associated Professor (DonNTU)

### Simulation of influence interference for propagation of radio waves in confined spaces

#### Вступ

Робота систем радіозв'язку у шахтах, тунелях та інших підземних спорудах відрізняється рядом особливостей:

– сильні загасання радіохвиль в гірських породах, що залежать від типу породи, її вологості, частоти радіосигналу та його електромагнітного поля;

–підвищених вимог до апаратури внаслідок високої вологості, запиленості, підвищеної вибухонебезпечності;

–великою різноманітністю параметрів підземних споруд (довжина, форма і розміри поперечних перерізів, матеріали стін, число металевих провідників тощо).

### Актуальність роботи

У наш час із розвитком технологій стало можливо впровадження комплексів підземного радіозв'язку в умовах підземного простору. Тому актуальним для забезпечення надійності та можливості здійснення радіозв'язку є дослідження впливу перешкод на поширення радіохвиль в умовах обмеженого простору шахт.

### Основна частина

Об'єктом дослідження є радіоканал, у якому поширюється радіохвиля. При поширенні на радіосигнал впливають перешкоди, що виникають у зв'язку зі специфічними умовами розповсюдження у шахтах.

Розглянемо математичний механізм передачі радіохвиль у шахті. Передавач працює на частоті  $f$  і має потужність  $P_{пер}$ . Потужність, що випромінюються,  $P_{изл}$  менше потужності передавача через наявність теплових втрат у фідерній лінії та у наслідок неідеального узгодження передавальної антени:

$$P_{изл} = P_{пер} \cdot \eta_{пер}, \quad (1)$$

де  $\eta_{пер}$  – коефіцієнт корисної дії тракту передавача.

Теплові втрати в фідерній лінії прийнято характеризувати погонним загасанням  $\alpha$ , що виражається зазвичай у дБ/м. Це загасання в лінії довжиною 1м. При довжині фідера  $l$  загасання в ньому складе:

$$A_{об} = \alpha \cdot l \text{ в дБ}, \quad (2)$$

або

$$A = 10^{\frac{\alpha l}{10}}$$

у відносних одиницях.

Для неідеально узгодженої антени розподіл напруги уздовж фідерної лінії утворюється накладенням двох хвиль: падаючої, що має амплітуду  $U_{пад}$ , і відображеної з амплітудою  $U_{отр}$ .

Отримано аналітичний вираз для постійної поширення  $\Gamma$  радіохвиль уздовж тунелю:

$$\Gamma = \gamma_0 \left[ 1 + \frac{1}{\gamma_c l} \ln \frac{2l}{c} \right]^{1/2}, \quad (3)$$

де  $\gamma_0 = i\xi_0 \mu_0 \omega$  – стала поширення радіохвиль у вільному просторі;

$\gamma_c = \sqrt{i\mu_0 \omega (\sigma_c + i\xi_{r3} \omega \xi_0)}$  – стала поширення радіохвиль в матеріалі стінки тунелю,

де  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  Гн/м;

$\omega$  – кругова частота;

$\xi_0 = (1/36\pi) \times 10^{-9}$  Ф/м;

$\sigma_c, \xi_{r3}, \xi_0$  – електрична провідність і діелектрична проникливість матеріалу стінки тунелю.

Поширення симетричного і несиметричного типів хвиль в циліндричному тунелі радіусом  $a=2$ м; відносна діелектрична проникність матеріалу стінки тунелі  $\xi_{r3} = 10$ , електрична провідність матеріалу  $\sigma_c = 10^{-2}$  См/м.

При обліку обох факторів коефіцієнт корисної дії тракту передавача складе:

$$\eta_{пер} = A \cdot (1 - \Gamma^2) = A \left[ 1 - \left( \gamma_0 \left[ 1 + \frac{1}{\gamma_c l} \ln \frac{2l}{c} \right]^{1/2} \right)^2 \right]. \quad (4)$$

Будь-яка реальна антена має спрямованість випромінювання, і завжди існує напрям, в якому випромінюється максимум енергії. Коефіцієнтом спрямованої дії (КСД) антени називається відношення щільності потоку потужності, створюваної в напрямку максимуму випромінювання

спрямованої антеною, до щільності потоку потужності ізотропної антени при однаковій потужності, що випромінюється.

Тоді в напрямку максимуму випромінювання антени, що має КСД  $D_{пер}$  щільність потоку потужності на відстані  $R$  дорівнює:

$$P = \frac{P_{пер} \cdot \eta_{пер} \cdot D_{пер}}{4\pi R^2}. \quad (5)$$

Ефективна площа антени пов'язана з її КСД  $D_{пер}$  співвідношенням:

$$S_{эфф} = \frac{\lambda^2}{4\pi} \cdot D_{пер}, \quad (6)$$

де  $\lambda = c/f$  - довжина хвилі.

Втрати узгодження приймальної антени визначаються її коефіцієнтом стоячої хвилі, втрати у фідері приймального тракту визначаються також, як і в передавальному. Разом вони враховуються введенням коефіцієнта корисної дії приймального фідерного тракту  $\eta_{прм}$ . Тоді потужність на вході приймача:

$$P_{прм} = P_{пер} \eta_{пер} \eta_{прм} D_{пер} D_{прм} \left( \frac{\lambda F}{4\pi R} \right)^2, \quad (7)$$

де  $D_{пер}$ ,  $D_{прм}$  - відповідно коефіцієнти спрямованої дії передавальної і приймальної антен;  $F$  - множник ослаблення, що дорівнює:

$$F = \frac{E}{E_{св}}. \quad (8)$$

де 
$$E_{св} = \frac{\sqrt{30 P_{пер} D_{пер} \eta_{пер}}}{R}.$$

Множник ослаблення характеризує ослаблення поля радіохвилі  $E$  при поширенні в реальних умовах порівняно з полем  $E_{св}$  при поширенні у вільному просторі.

Приймач характеризується чутливістю  $P_{прм}^{min}$ , такий мінімальною потужністю на вході, при якій здійснюється прийом сигналів із заданою якістю.

Зазвичай потужність сигналу на вході приймача задається в дБ щодо 1 мВт (дБ/мВт), для переходу до системи СІ використовується співвідношення:

$$P_{прм}^{min} = 10^{\left( \frac{P(\text{дБ/мВт}) - 3}{10} \right)}. \quad (9)$$

Для забезпечення радіозв'язку в умовах обмеженого простору необхідне дотримання двох критеріїв:

1) спотворення сигналу у процесі поширення не повинні перевищувати допустимої норми;

2) має бути забезпечене певне перевищення потужності сигналу над потужністю різного роду перешкод на вході приймача, залежне від виду роботи, достовірності та надійності прийому.

Перша умова обмежує смугу частот неспотвореної передачі, тобто швидкість і кількість каналів. Надалі вважаємо, що вид роботи задовольняє цій вимозі, тобто узгоджений з особливостями використовуваного способу розповсюдження радіохвиль.

У діапазоні коротких і більш довгих хвиль зовнішні перешкоди часто характеризують діючої (середньоквадратичної) напруженістю поля перешкод  $E_n^{(1)}$ , віднесених до одиничної смуги частот (зазвичай 1 кГц). Величину питомої напруженості  $E_n^{(1)}$  знаходять через потужність перешкод  $P_{вн}$  в антені без втрат, в припущенні, що перешкоди приходять рівномірно з усіх напрямів.

Знаходимо  $E_n^{(1)}$  за формулою:

$$E_n^{(1)} = \sqrt{\frac{480\pi^2 P_{вн}}{\lambda^2 B}}. \quad (10)$$

Рівень  $E_n^{(1)}$  в децибелах щодо 1 мкВ/м пов'язаний з коефіцієнтом перешкод  $F_A$  співвідношенням:

$$E_n^{(1)}, \text{дБ/мкВ} = F_A, \text{дБ} + 20 \lg f, \text{МГц} \quad (11)$$

Якщо рівень зовнішніх перешкод великий, а коефіцієнт корисної дії приймального антенно-фідерного пристрою не надто малий (режим великих зовнішніх перешкод), то можна знехтувати внутрішніми шумами. При цьому рівняння радіолінії приймає вигляд:

$$30P_{\text{пер}} D_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}} \left( \frac{F}{R} \right)^2 = k^2 E_n^{(1)2} \frac{B}{D_{\text{прм}}}. \quad (12)$$

Ліва частина виразу (12) визначає квадрат напруженості поля  $E$ , створюваною передавальною антеною, а права частина – квадрат необхідної напруженості  $E_n$  поля в пункті прийому:

$$E = \frac{F}{R} \sqrt{30P_{\text{пер}} G_{\text{пер}} \eta_{\text{пер}}} \quad (13)$$

$$E_n = k E_n^{(1)} \sqrt{\frac{B}{D_{\text{прм}}}}. \quad (14)$$

Таким чином, в режимі великих перешкод умовою здійснення радіозв'язку є:

$$E \geq E_n. \quad (15)$$

Максимальну дальність зв'язку  $R_{\text{max}}$  отримують, якщо у вираз (7) підставити чутливість приймача і вирішити його щодо  $R$ :

$$R_{\text{max}} = \frac{\lambda F}{4\pi} \sqrt{\frac{P_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \eta_{\text{nhv}} \cdot D_{\text{пер}} \cdot D_{\text{прм}}}{P_{\text{прм}}^{\text{min}}}} \quad (16)$$

Наведені вище співвідношення дозволяють здійснити моделювання радіотрас в умовах обмеженого простору шахтної виробки з урахуванням перешкод і розробити відповідну віртуальну імітаційну модель.

Модель було розроблено у пакеті моделювання Simulink. Схема моделі представлена на рисунку 1.

У ході експериментів будемо змінювати такі параметри як: частота та потужність передавача, та відслідковувати значення: необхідної напруженості поля, напруженості поля сигналу, необхідної чутливості приймача, відстань.

Таблиця 1  
Результати експериментів

Параметри	$E_n$	$E$	$P_{\text{прм}}^{\text{min}}$
$f=200$ ; $P_{\text{пер}}=500$ ; $R=50$	270,9	299,1	-35,14
$f=200$ ; $P_{\text{пер}}=500$ ; $R=55$	270,9	271,9	-35,97
$f=200$ ; $P_{\text{пер}}=500$ ; $R=60$	270,9	249,3	-36,73
$f=200$ ; $P_{\text{пер}}=500$ ; $R=65$	270,9	230,1	-37,42

Для більшої наочності побудуємо графік залежності  $E_n$  та  $E$  від  $R$  при параметрах  $f=200$  МГц,  $P_{\text{пер}}=500$  мВт рисунок 2.

Побудуємо графік залежності максимальної відстані між передатчиком та приймачем від потужності передатчика (рисунок 3).

За допомогою графіка залежності процента збільшення відстані від потужності передатчика, оцінимо темпи зростання відстані. Графік представлено на рисунку 4.

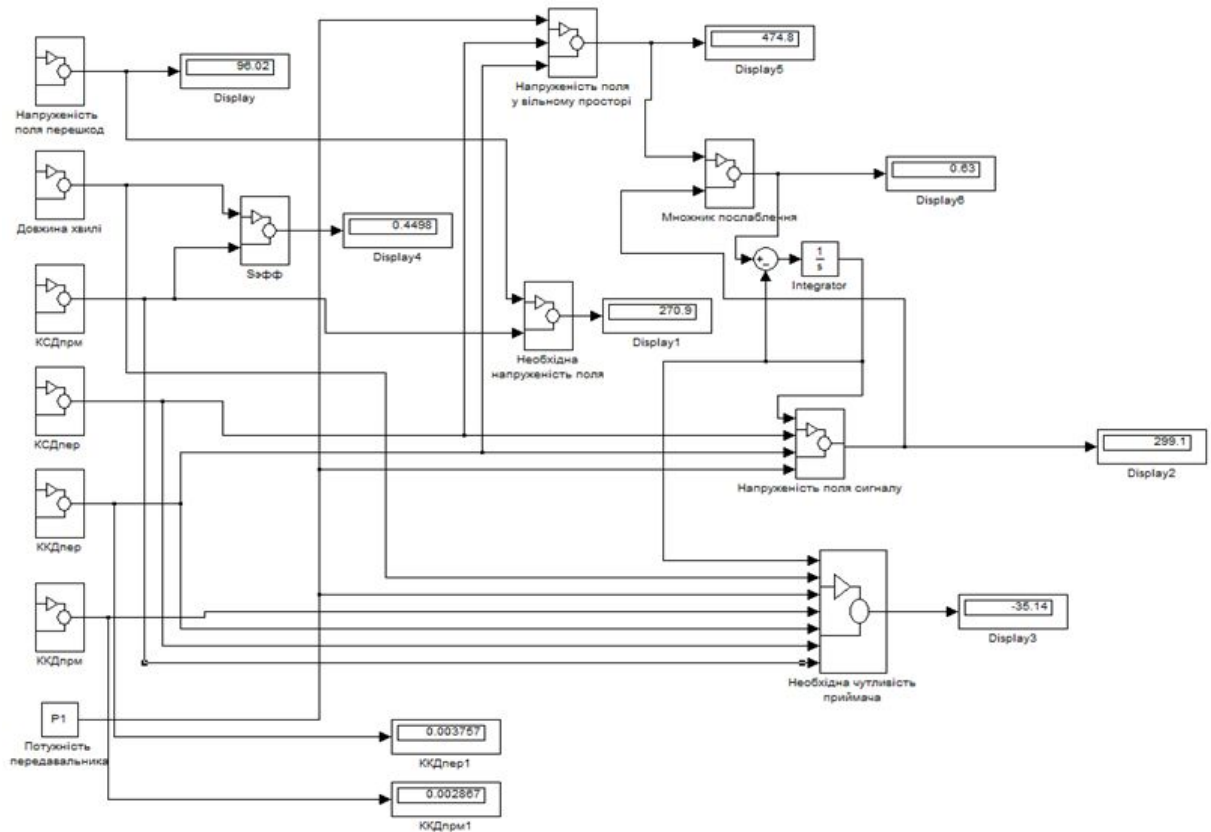


Рис. 1. Схема моделі у Simulink

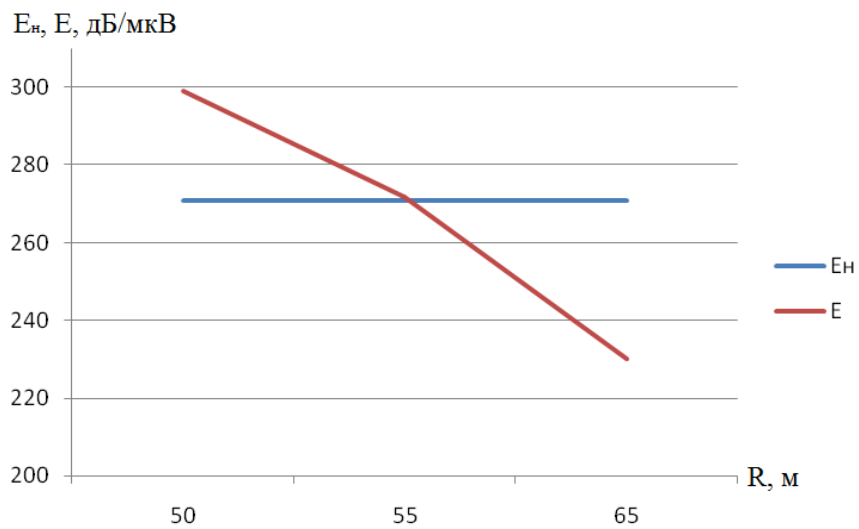


Рис. 2. Графік залежності необхідної напруженості поля та напруженості поля сигналу від відстані

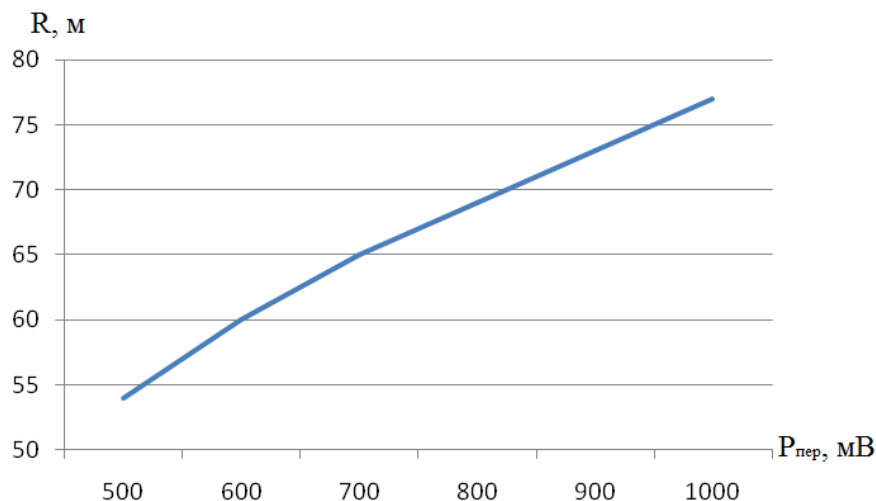


Рис. 3. Графік залежності відстані від потужності передатчика

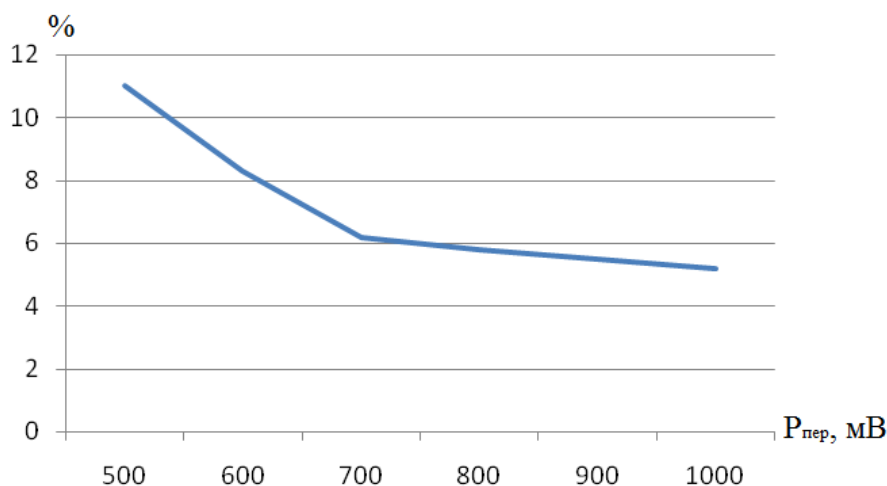


Рис. 4. Графік залежності процента збільшення відстані від потужності передатчика

### Висновки

Розглянувши рисунки 3 та 4 бачимо, що зі збільшенням потужності передатчика відстань між передатчиком та приймачем звісно збільшується, але темп цього збільшення падає. З цієї тенденції можна зробити висновок про те, що подальше збільшення потужності передатчика буде недоцільним, бо темпи зростання відстані будуть зменшуватися.

### Список літератури:

1. Благовещенский Д.В. Радиосвязь и электромагнитные помехи: Учеб. пособие/ СПбГУАП. СПб., 2002. 70с.: ил.

2. Молоковський І.О. Дослідження можливості передачі інформації за допомогою бездротових технологій у технологічних мережах промислових підприємств /І.О. Молоковський// Сборник научных трудов Донецкого национального технического университета, серия: «Вычислительная техника и автоматизация». Донецк: ДонНТУ, 2010 р. – Выпуск 19 (171). – С. 77-82.

3. Молоковський І.О. Використання радіозв'язку у складних умовах розповсюдження / І.О. Молоковський, В.В. Турупапов // Науково-методична конференція "Сучасні проблеми телекомунікацій і підготовка фахівців в галузі телекомунікацій-

2011". - Львів, 27-30 жовтня, 2011 р. - С.21-23.

4. Молоковський І.О. Аналіз систем промислового зв'язку / І.О. Молоковський // Наукові праці інституту проблем модулювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова «Моделювання та інформаційні технології». - Київ, 2009 р. - Випуск 52. - С.157-160.

5. Молоковський І.О. Бездротові технології у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов // Матеріали VI Міжнародного науково-технічного симпозиуму «Нові технології в телекомунікаціях» ДУІКТ-Карпати, - Вишків, 2011 р. - С. 54-56.

6. Молоковський І.О. Аналіз технологій бездротового зв'язку у технологічних мережах промислових підприємств / І.О. Молоковський, В.В. Турупалов, Л.О. Шебанова // Наукові праці Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. - Донецьк, 2011. - Випуск 28. - С. 88-93.

7. Турупалов В.В. Основные требования к промышленным телекоммуникационным системам крупных технологических предприятий / В.В. Турупалов // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти. Збірник наукових праць. Том 3. Випуск 1 - Чернівці, 2012. - С. 87-90.

8. Молоковський І.А. Влияние окружающей среды на передачу радиосигналов в промышленных телекоммуникационных системах / И.А. Молоковский // Матеріали VIII Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні інформаційно-комунікаційні технології». Лівадія: ДУІКТ, 2012 р. - С. 147-149.

9. Турупалов В.В. Информационная система обеспечения безопасности промышленных предприятий / В.В. Турупалов // Науковий вісник Чернівецького університету «Комп'ютерні системи та компоненти. Збірник наукових праць. Том 3. Випуск 2 - Чернівці, 2012. - С. 65-68.

10. Турупалов В.В. Роль телекомунікаційних технологій у системах автоматизації підприємств гірничого-добувного

комплексу / В.В. Турупалов // Научно-теоретический журнал «Искусственный интеллект». - Донецк - 2012. - №4. - С. 516 - 521.

11. Турупалов В.В. Спеціалізована телекомунікаційна мережа в системі управління вугільною шахтою / В.В. Турупалов, Р.В. Федюн, В.О. Попов // Автоматика-2004: 11-я международная конференция по автоматическому управлению, 27-30 сентября 2004 г.: тези докл. - К, 2004. - Т. 4. - С. 113.

12. Молоковський І.А. Исследование процесса распространения радиоволн в телекоммуникационных сетях специального назначения / И.А. Молоковский, В.В. Турупалов, Р.Ш. Абрамов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. - Донецьк, 2013. - Випуск 2(25). - С. 144-151.

#### Spisok literatury:

1. Blagoveshhenskij D.V. Radio-svjaz' i jelectromagnitnye pomehi: Ucheb. posobie/ SPbGUAP. SPb., 2002. 70s.: il.

2. Molokovs'kij I.O. Doslidzhennja mozhlivosti peredachi informacii za dopomoguju bezdrotoivih tehnologij u tehnologichnih merezah promislovih pidpriemstv / I.O. Molokovs'kij // Sbornik nauchnyh trudov Doneckogo nacional'nogo tehni-cheskogo universiteta, serija: «Vychisli-tel'naja tehnika i avtomatizacija». Doneck: DonNTU, 2010 r. - Vypusk 19 (171). - S. 77-82.

3. Molokovs'kij I.O. Viktoristannja radiozv'jazku u skladnih umovah rozpovsjudzhennja / I.O. Molokovs'kij, V.V. Turupalov // Naukovo-metodichna konferencija "Suchasni problemi telekomunikacij i pidgotovka fahivciv v galuzi telekomunikacij-2011". - L'viv, 27-30 zhovtnja, 2011 r. - S.21-23.

4. Molokovs'kij I.O. Analiz sistem promislovogo zv'jazku / I.O. Molokovs'kij // Naukovi pracj institutu problem moduljuvannja v energetici im. G.E. Puhova «Modeljuvannja ta informacijni tehnologii». - Kiiiv, 2009 r. - Vipusk 52. - С.157-160.

5. Molokovs'kij I.O. Bezdrotovi tehnologiji u tehnologichnih mrezhah promislovih pidpriemstv / I.O. Molokovs'-kij, V.V. Turupalov // Materiali VI Mizhnarodnogo naukovno-tehnichnogo simpoziumu «Novi tehnologiji v telekomunikacijah» DUIKT-Karpati, - Vishkiv, 2011 r. - S. 54-56.

6. Molokovs'kij I.O. Analiz teh-nologij bezdrotovogo zv'jazku u tehnologi-chnih mrezhah promislovih pidpriemstv / I.O. Molokovs'kij, V.V. Turupalov, L.O. Shebanova // Naukovi praci Donec'kogo institutu zaliznichnogo transportu Ukraïns'koï derzhavnoï akademii zaliznichnogo transportu. – Donec'k, 2011. – Vipusk 28. – S. 88-93.

7. Turupalov V.V. Osnovnye trebovanija k promyshlennym telekommunikacionnym sistemam krupnyh tehnologicheskikh predpriyatij / V.V. Turupalov // Naukovij visnik Chernivec'kogo universitetu «Komp'juterni sistemi ta komponenti. Zbirnik naukovih prac'. Tom 3. Vipusk 1 – Chernivci, 2012. – S. 87-90.

8. Molokovskij I.A. Vlijanie okružhajushhej sredy na peredachu radiosignalov v promyshlennyh telekommunikacionnyh sistemah / I.A. Molokovskij // Materiali VIII Mizhnarodnoï naukovno-tehnichnoï konferencii «Suchasni informacijno-komunikacijni tehnologiji». Livadija: DUIKT, 2012 r. – S. 147-149.

9. Turupalov V.V. Informacionnaja sistema obespechenija bezopasnosti promyshlennyh predpriyatij / V.V. Turupalov // Naukovij visnik Chernivec'kogo universitetu «Komp'juterni sistemi ta komponenti. Zbirnik naukovih prac'. Tom 3. Vipusk 2 – Chernivci, 2012. – S. 65-68.

10. Turupalov V.V. Rol' telekomunikacijnih tehnologij u sistemah avtomatizacii pidpriemstv girnichogo-dobuvnogo kompleksu / V.V. Turupalov // Nauchno-teoreticheskij zhurnal «Iskusstvennyj intellekt». – Doneck – 2012. – №4. – S. 516 - 521.

11. Turupalov V.V. Specializovana telekomunikacijna mrežha v sistemi upravlinnja vugil'noju shahtoju / V.V. Turupalov, R.V. Fedjun, V.O. Popov // Avtomatika-2004: 11-ja mezhdunarodnaja konferencija po avtomaticheskomu upravleniju, 27 - 30 sentjabrja 2004 g.: tezi dokl. – K, 2004. - T. 4. - S. 113.

12. Molokovskij I.A. Issledovanie processa rasprostraneniya radiovoln v telekommunikacionnyh setjah special'nogo naznachenija / I.A. Molokovskij, V.V. Turupalov, R.Sh. Abramov // Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnichnogo universitetu. Serija: Obchisljuval'na tehnika ta avtomatizacija. – Donec'k, 2013. – Vipusk 2(25). – S. 144-151.

#### Анотації:

У роботі розглянуті питання розповсюдження радіохвиль у обмеженому просторі підземної частини шахти. Вивчено вплив збільшення потужності передатчика на відстань між передатчиком та приймачем. З цієї тенденції можна зробити висновок про те, що безмежне збільшення потужності передатчика буде недоцільним, бо темпи зростання відстані будуть зменшуватися.

**Ключові слова:** радіохвиля, приймач, потужність, відстань.

В работе рассмотрены вопросы распространения радиоволн в ограниченном пространстве подземной части шахты. Изучено влияние увеличение мощности передатчика на расстояние между передатчиком и приемником. Из этой тенденции можно сделать вывод о том, что безграничное увеличение мощности передатчика будет нецелесообразным, поскольку темпы роста расстояния будут уменьшаться.

**Ключевые слова:** радиоволна, приемник, мощность, расстояние.

We consider the problems of radio wave propagation in the confined space of the underground part of the mine.

The effect of transmitter power on the distance between the transmitter and receiver was considered.

**Keywords:** radio wave, receiver, power, distance.