

# Propagacja fal elektromagnetycznych w górniczych wyciągach szybowych

*Górnice wyciągi szybowe z uwagi na specyfikę konfiguracji przestrzennej oraz warunki środowiskowe w nich występujące stanowią znaczne wyzwanie dla konstruktorów urządzeń łączności bezprzewodowej. W artykule przedstawiono praktyczne sposoby realizacji łączności bezprzewodowej w szybach, przy zastosowaniu odmiennych metod emisji i propagacji fal elektromagnetycznych.*

## 1. WSTĘP

---

Propagacja fal elektromagnetycznych w szybach kopalnianych jest znacznie utrudniona ze względu na: wymiary geometryczne wyciągu – walec o średnicy ok. 9 m i długości dochodzącej do 1200 m, otoczenie otworu betonową konstrukcją ze stalowymi wzmocnieniami, znaczne nagromadzenie metalowych elementów wyposażenia, tj. przewodniki szybowe czy kable oraz warunki klimatyczne, a w szczególności dużą wilgotność i duży gradient temperatury. Dlatego w większości przypadków w bezprzewodowych systemach łączności w górniczych wyciągach szybowych stosowane są nośniki fali elektromagnetycznej. Systemy te, ze względu na wykorzystany typ nośnika możemy podzielić na:

- łączność z wykorzystaniem promieniowania swobodnych fal radiowych w zakresie widoczności optycznej anten,
- łączność z wykorzystaniem kabla promieniującego stanowiącego nośnik dwuprzewodowy lub jedнопrzewodowy, asymetryczny względem potencjału ziemi,
- łączność z wykorzystaniem lin wyciągowych stanowiących nośnik jedнопrzewodowy, a w niektórych przypadkach jedнопrzewodowy ziemnopowrotny.

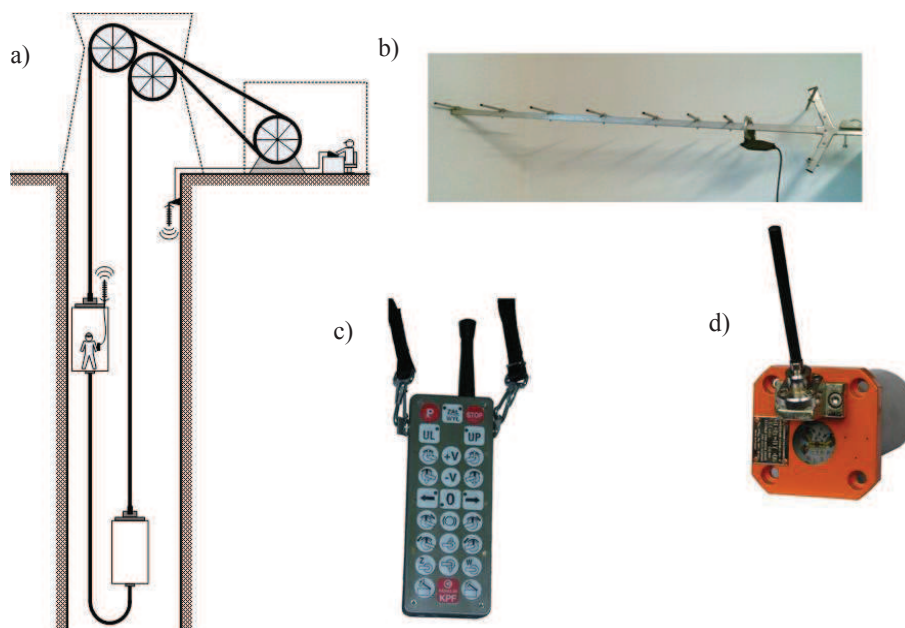
Każdy z tych sposobów propagacji fal elektromagnetycznych narzuca inne wymagania dla konstrukcji systemów łączności, a w konsekwencji wymusza odmienne sposoby ich użytkowania i eksploatacji, co

niejednokrotnie decyduje o wyborze konkretnego rozwiązania dla danego obiektu.

## 2. ŁĄCZNOŚĆ RADIOWA

---

Łączność w oparciu o wykorzystanie swobodnych fal elektromagnetycznych realizowana jest przy pomocy anten zlokalizowanych w szybie, jak pokazano to na rysunku 1. W większości przypadków, gdy mamy do czynienia z szybem o znacznej głębokości, wykorzystywane są anteny kierunkowe. Jest to związane z chęcią minimalizacji mocy emisji oraz zapobieganiu występowania stref martwych. Ograniczenie mocy emisji wynika również z faktu, że zgodnie z obowiązującym prawem prowadzenie łączności radiowej bez specjalnego zezwolenia możliwe jest tylko w określonych pasmach. Przeprowadzone badania możliwości użycia tego rodzaju emisji do prowadzenia skutecznej łączności, przy użyciu sterownika radiowego typu RADIAX z anteną typu „Yagi”, pracującego z częstotliwością 434 MHz wykazały, że minimalna moc emisji urządzeń powinna wynosić ok. 100 mW. Jak widać z tabeli 1, przedstawiającej fragment wykazu pasm dozwolonych do użytkowania bez zezwolenia, taka moc promieniowania dopuszczalna jest tylko w jednym przypadku dla pasma 869,40 – 869,65 MHz, co znacznie ogranicza w praktyce pole manewru konstruktorów przy doborze urządzeń dla systemów łączności. Innym



Rys. 1. Przykład prowadzenia łączności radiowej z wykorzystaniem radiosterowników RADIAX  
 a) przykładowy schemat łączności, b) antena kierunkowa typu „Yagi”, c) nadajnik radiosterownika,  
 d) odbiornik radiosterownika

Tabela 1

**Fragment wykazu częstotliwości radiowych, które mogą być wykorzystywane bez pozwolenia**

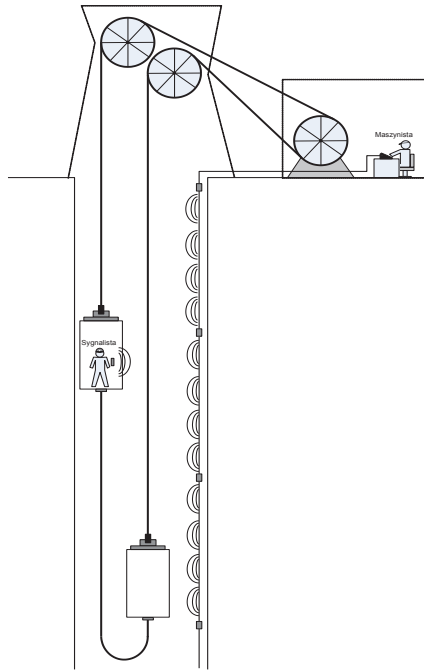
Lp.	Zakres częstotliwości	Moc promieniowania lub natężenie pola elektromagnetycznego w odległości 10 m	Rodzaj anteny	Szerokość kanału radiowego	Aktywność nadajnika
1	6,765 – 6,795 MHz 3)	42 dBmA/m 1)	I, D	[-]	[-]
2	13,553 – 13,567 MHz 3)	42 dBmA/m 1)	I, D	[-]	[-]
3	26,957 – 27,283 MHz 3)	42 dBmA/m lub ≤ 10 mW (e.r.p.) 2)	I, D	[-]	[-]
4	40,66 – 40,70 MHz 3)	≤ 10 mW (e.r.p.)	I, D	[-]	[-]
5	433,05 – 434,79 MHz 3), 4)	≤ 10 mW (e.r.p.)	I, D	25 kHz	[-]
6	868,0 – 868,6 MHz 5)	≤ 25 mW (e.r.p.)	I, D	6)	mała
7	868,7 – 869,2 MHz	≤ 25 mW (e.r.p.)	I, D	6)	bardzo mała
8	869,3 – 869,4 MHz	≤ 10 mW (e.r.p.)	I, D	25 kHz	[-]
9	869,40 – 869,65 MHz	≤ 500 mW (e.r.p.)	I, D	25 kHz 7)	duża
10	869,70 – 870,00 MHz	≤ 5 mW (e.r.p.)	I, D	[-]	bardzo duża

elementem, który znacząco wpływa na dobór pasma pracy jest tłumienność ośrodka. Badania tłumienności fal radiowych w szybach kopalnianych [4] pokazały, że wraz ze wzrostem częstotliwości rośnie tłumienność ośrodka. Przykładowo, gdy dla 40 MHz tłumienność wynosi 11 dB/100 m, to dla 869 MHz jest to już wartość 18 dB/100 m. Pokazuje to wyraźnie, że ograniczenie mocy emisji lub zwiększenie zasięgu działania łączności poprzez zastosowanie wyższych częstotliwości nie zawsze odnosi pożądany skutek. Dlatego problemy te powodują, że omawiany rodzaj emisji stosuje się w szybach do głębokości ok.

500 m, choć niewątpliwie realizacja łączności w tym przypadku wymaga zaangażowania najmniejszych środków technicznych i organizacyjnych.

### 3. ŁĄCZNOŚĆ Z WYKORZYSTANIEM KABLA PROMIENIUJĄCEGO

Większość tego rodzaju systemów, jako nośnik fali elektromagnetycznej wykorzystuje kabel koncentryczny tzw. „cieknący”, którego ekran jest tak

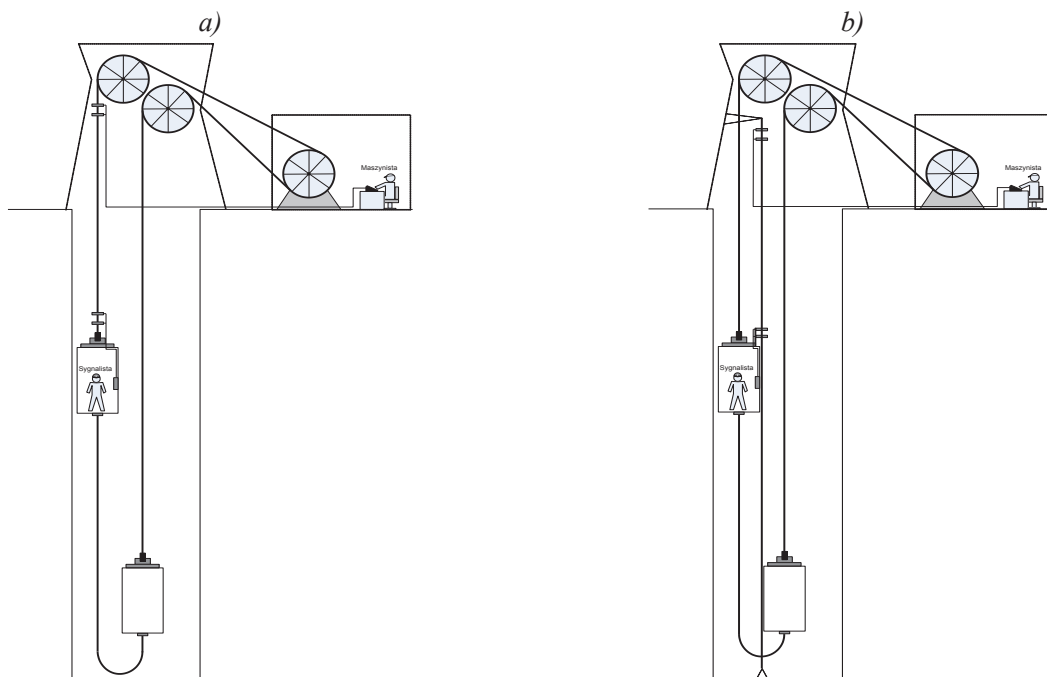


Rys. 2. Schemat wykorzystania kabla promieniującego

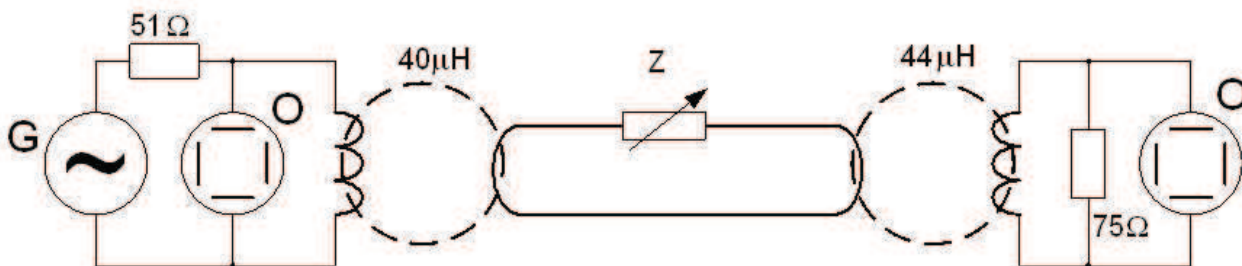
wykonany, że umożliwia sygnałom radiowym „przeciekanie” do otoczenia, będąc zarazem anteną odbiorczą i nadawczą (rys. 2). W ciąg kabla ciekącego, co około 350 m musi być włączony liniowy wzmacniacz sygnału [2]. W zależności od wykorzystywanej częstotliwości jako nośnik fali elektromagnetycznej używane są również kable innych rodzajów, np. dla pasma długofalowego wykorzystuje się izolowany przewód jednożyłowy o przekroju  $2,5 \text{ mm}^2$  [3].

#### 4. ŁĄCZNOŚĆ Z WYKORZYSTANIEM LIN NOŚNYCH

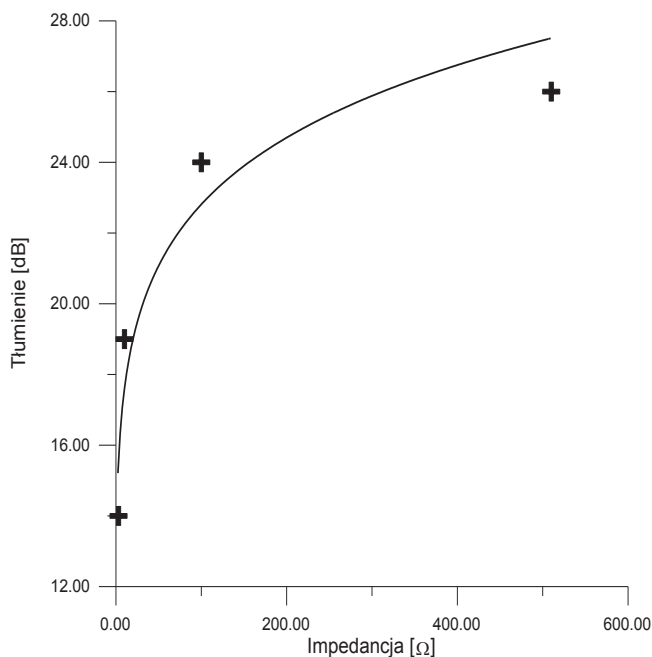
Na rysunku 3 przedstawiona została idea działania urządzeń wykorzystujących liny jako nośnik do propagacji fal elektromagnetycznych. Nośnik w tym przypadku tworzą: lina nośna, lina wyrównawcza, naczynia szybowe, a także – w niektórych przypadkach – koła prowadnicze lub napędowe. Fala elektromagnetyczna jest generowana i odbierana z nośnika za pomocą sprzęgaczy indukcyjnych. Z uwagi na różnorodność rozwiązań konstrukcji szybów istnieje wiele wariantów przedstawionego schematu np. wykorzystujący liny przewodnicze, czy jedynie liny nośne w przypadku napędu wielolinowego [1]. W dotychczas stosowanych rozwiązaniach dla częstotliwości do ok. 100 kHz dominującym rodzajem sprzężenia urządzeń nadawczo-odbiorczych z torem sygnałowym było sprzężenie indukcyjne. Dlatego dla prawidłowego działania konieczne było stosowanie zamkniętej pętli lin. Wymaganie to nie pozwalało stosować tego rodzaju emisji w wyciągach jednokońcowych, w których nie zastosowano przewodników szybowych. W celu przeprowadzenia analizy możliwości współdziałania urządzeń z torem, w którym dominującym rodzajem sprzężenia jest sprzężenie pojemnościowe przeprowadzono oszacowanie parametrów elektrycznych nośnika. Dla różnych układów konstrukcji szybów zmierzona impedancja nośnika wynosiła od  $4 \Omega$  do  $2 \text{ k}\Omega$  przy głębokości szybu 1000 m.



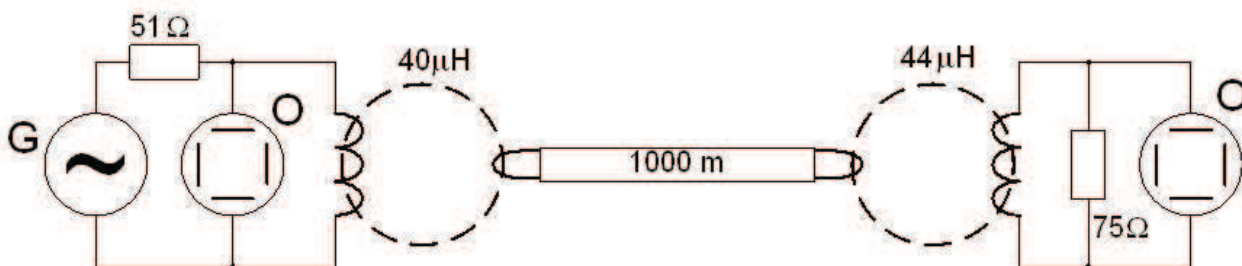
Rys. 3. Schemat realizacji łączności przy pomocy: a) lin nośnych, b) lin przewodniczych



Rys. 4. Schemat laboratoryjnego układu pomiarowego



Rys. 5. Zależność tłumienia sygnału od impedancji układu, zmierzona z wykorzystaniem układu laboratoryjnego



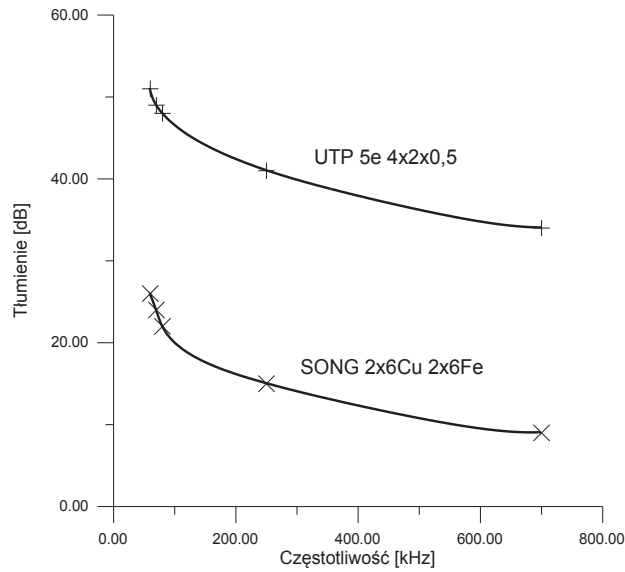
Rys. 6. Schemat układu pomiarowego z kablami o długości 1000 m

Następnie przy pomocy układu laboratoryjnego, przedstawionego na rysunku 4, zmierzono wartość tłumienności toru nośnika. Tłumienność nośnika dla zmierzonych wcześniej wartości impedancji przy częstotliwości 80 kHz nie przekroczyła wartości 30 dB/1000 m, co przedstawiono na rysunku 5.

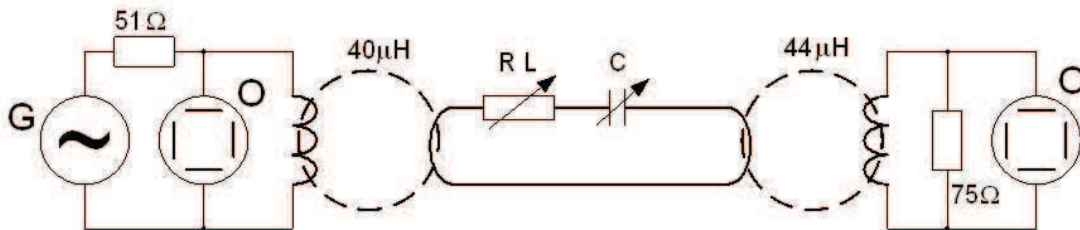
Jednak przeprowadzenie badania tłumienności nośnika w ten sposób zawierało podstawową wadę w postaci zastąpienia nośnika o parametrach rozłożonych, elementem o parametrach skupionych, co może wprowadzić duże błędy w oszacowaniu wyników lub

wręczy je wypaczyć. Dlatego w następnym kroku przeprowadzono pomiary tłumienności nośnika w funkcji częstotliwości, przy użyciu dwóch kabli o długości 1000 m i różnej impedancji, co przedstawiono na rysunku 6.

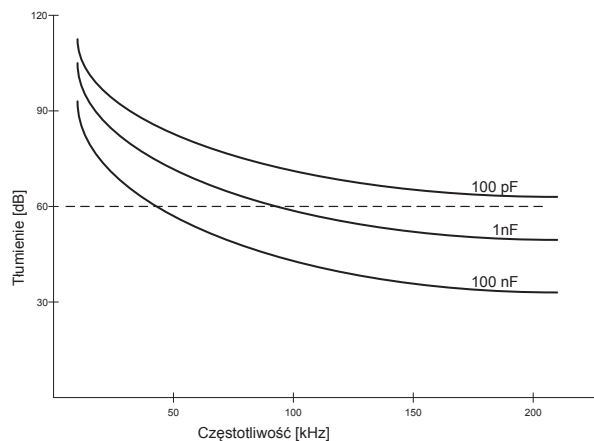
Wyznaczone charakterystyki tłumienności nośników przedstawione na rysunku 7, potwierdziły tendencję do zwiększania się wartości tłumienności wraz ze wzrostem impedancji nośnika oraz pokazały, że wraz ze wzrostem częstotliwości wartość tłumienności maleje.



Rys. 7. Zależność tłumienia sygnału od częstotliwości, zmierzona dla dwóch kabli o różnej impedancji



Rys. 8. Schemat laboratoryjnego układu pomiarowego do symulacji zjawisk w wyciągach jednokońcowych



Rys. 9. Zależność tłumienia sygnału od częstotliwości, zmierzona w przypadku zastosowania nośnika o sprzężeniu pojemnościowym

Potwierdzenie słuszności zastosowanego modelu laboratoryjnego pozwoliło na zastosowanie go do badania tłumienności w przypadku, w którym dominującym rodzajem sprzężenia z torem jest sprzężenie pojemnościowe. W układzie przedstawionym na rysunku 8 w tor nośnika włączono dodatkową pojemność, co pozwoliło na oszacowanie parametrów granicznych częstotliwości i pojemności, dla których tłumienność toru nie przekracza wartości

60 dB/1000 m. Wartość ta bowiem warunkuje prawidłowe działanie urządzeń łączności szybkiej typu ECHO. Jak widać z charakterystyk przedstawionych na rysunku 9, tłumienie maleje wraz ze wzrostem pojemności nośnika i częstotliwości sygnału. Założone wartości graniczne można osiągnąć już dla częstotliwości 100 kHz. Jednak z uwagi na wartości pojemności występujących w układach rzeczywistych oraz pewien zapas bez-

pieczeństwa działania układu, wartością bezpieczną poprawnego działania układu wydaje się 150 kHz.

## 5. PODSUMOWANIE

Propagacja fal elektromagnetycznych w górniczych wyciągach szybowych jest znacznie utrudniona ze względu na specyfikę otoczenia. Z uwagi na silne tłumienie, łączność na większą odległość najlepiej jest realizować w oparciu o nośnik fali. Najbardziej rozpowszechnionym sposobem realizacji łączności w szybach jest stosowanie jako nośnika fali lin nośnych. Dla tego nośnika powyżej częstotliwości 150

kHz nie jest konieczne stosowanie pętli zamkniętej, co umożliwi zastosowanie tego rodzaju łączności w wyciągach jednokońcowych.

### Literatura

1. *Giel R., Jackiewicz T.*: Rozwój urządzeń łączności szybowej. MiAG 2009, nr 7 (461), Katowice 2009 r.
2. *Utikal J.*: Sygnalizacje i napędy w górniczych wyciągach szybowych. Wydawnictwo Górnicze, Katowice 2007 r.
3. *Utikal J.*: Systemy telekomunikacyjne w górnictwie. ZG SITG, Katowice 1998 r.
4. *Bombersbach G., Szczurowski M., Warzecha M., Krzak Ł., Worek C.*: Radiowa łączność cyfrowa w pionowych szybach kopalnianych. Poznańskie Warsztaty Telekomunikacyjne, Poznań 8-9 grudnia 2005.

Recenzent: dr inż. Grzegorz Wiśniewski

## PROPAGATION OF ELECTROMAGNETIC WAVES IN MINING SHAFT HOISTINGS

Due to specific spatial configurations and ambient conditions, mining shaft hoistings are a challenge for wireless communication engineers. The article features practical solutions to provide wireless communication in shafts, with the use of different methods of emission and electromagnetic waves propagation.

## ПРОПАГАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНИКАХ

Шахтные подъемники в связи со спецификой пространственной конфигурации и условиями окружающей среды, которые в них наблюдаются, составляют значительный вызов конструкторам устройств беспроводной связи. В статье представлены практические способы беспроводной связи в стволах шахты, при применении разных методов эмиссии и пропагации электромагнитных волн.