

**«Модель формування
електромагнітного поля в умовах
замкнутого простору, аналіз факторів
що впливають на його формування»**

Березкін Андрій Леонідович,

ІШМЕ ім. Г. Є. Пухова НАН України

Науковий керівник: доктор технічних наук, старший науковий співробітник **Винничук Степан Дмитрович,** ІШМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, завідувач відділу «Автоматизації проектування енергетичних установок»

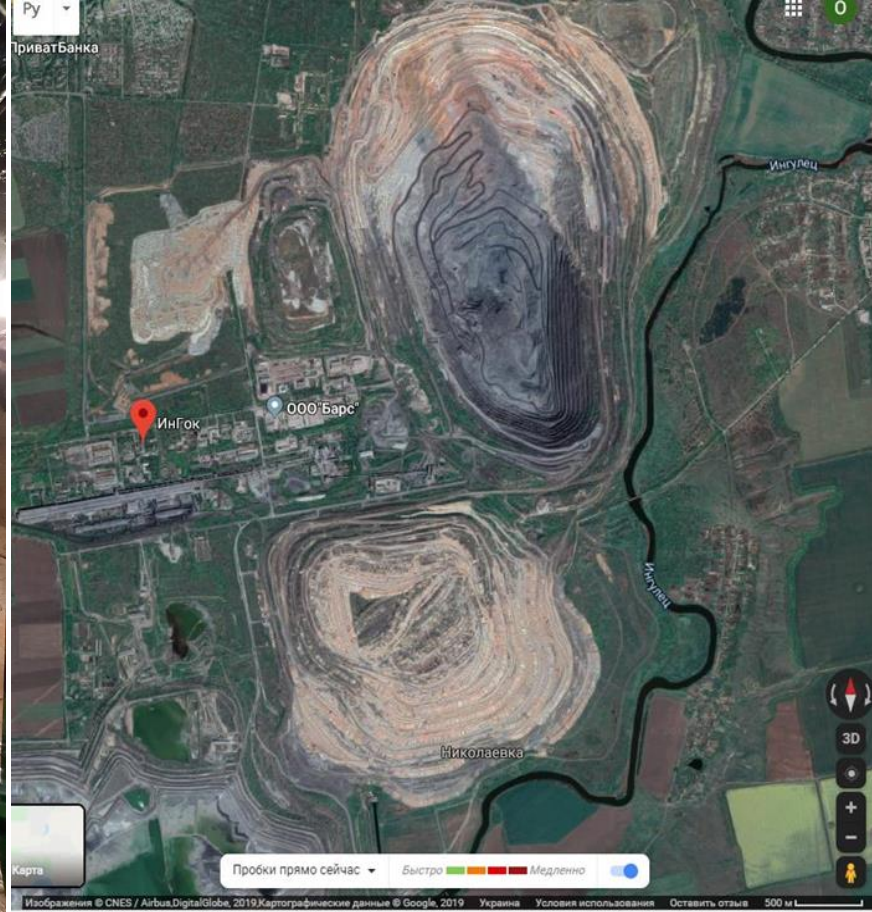
ВСТУП

- В сучасних радіотехнічних засобах досить широко використовують технології передачі та збору інформації на основі багатопроменевого випромінювання, наприклад, засоби, засновані на радіотехнологіях WiFi, LTE (4G, 5G), McWiLL, MIMO, LoRa.
- Якщо розглядати більш вузькі аспекти застосування радіоприладів, наприклад, у великих громадських будівлях, на великих промислових об'єктах шахт, що можна охарактеризувати як великі замкнуті простори, то умови їх роботи є більш складними. Це пов'язано з явищами багатопроменевого розповсюдження радіопроменів таких як інтерференція, рефракція і дифракція. Що, в свою чергу, призводить до появи інтермодуляційних завад, явища загасання радіосигналу.

Приклади великих замкнутих просторів



Шахта

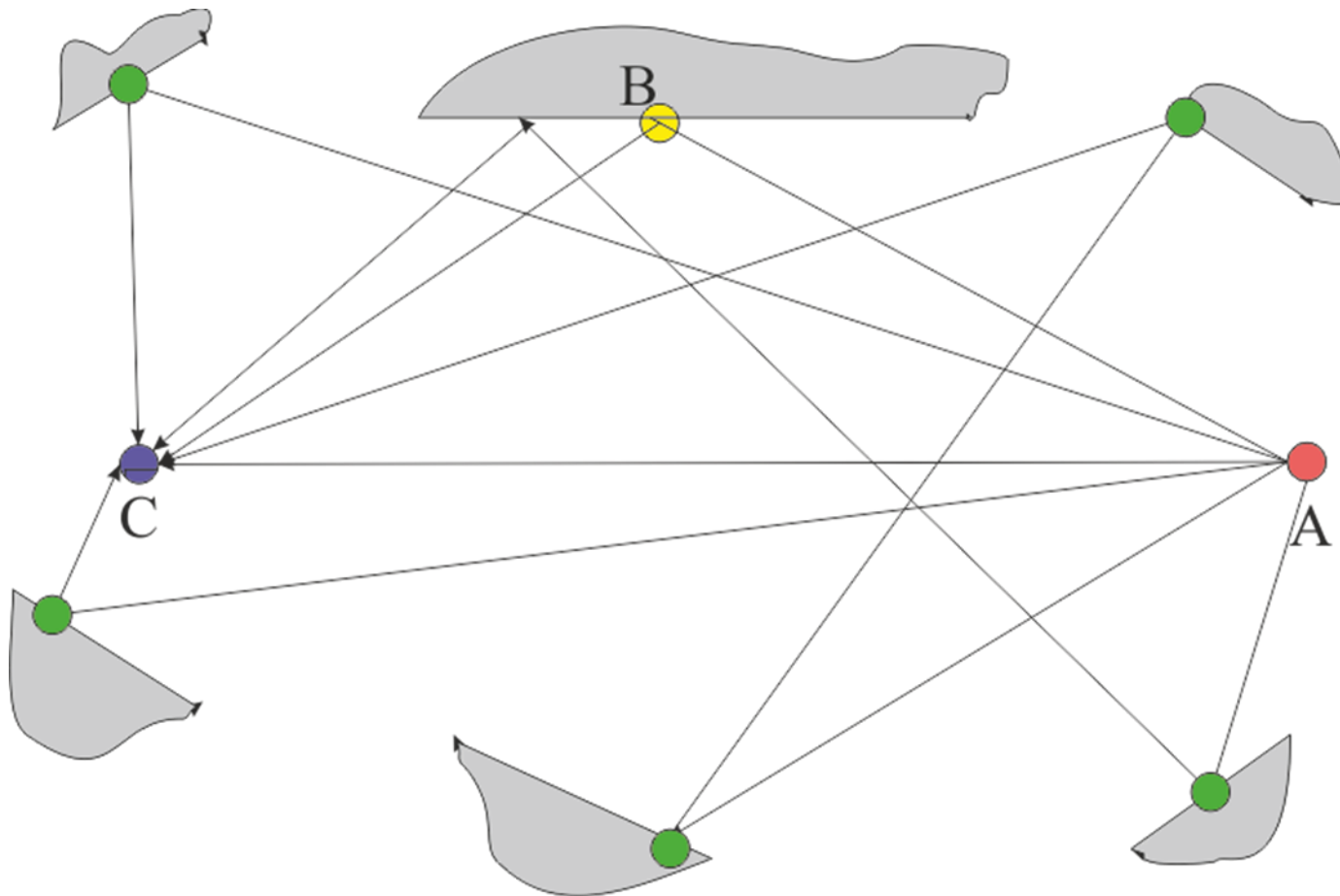


Кар'єр



Ливарний цех

Формування багатопроменевого розповсюдження



Труднощі радіоприйому що виникають із-за багатопроменевого розповсюдження.

- Інтерференційні радіозавади
- Виникнення явища завмирання радіосигналу
- Погіршення співвідношення сигнал/шум

Формула Шеннона $C = W \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$

C - ємність каналу, біт/с;

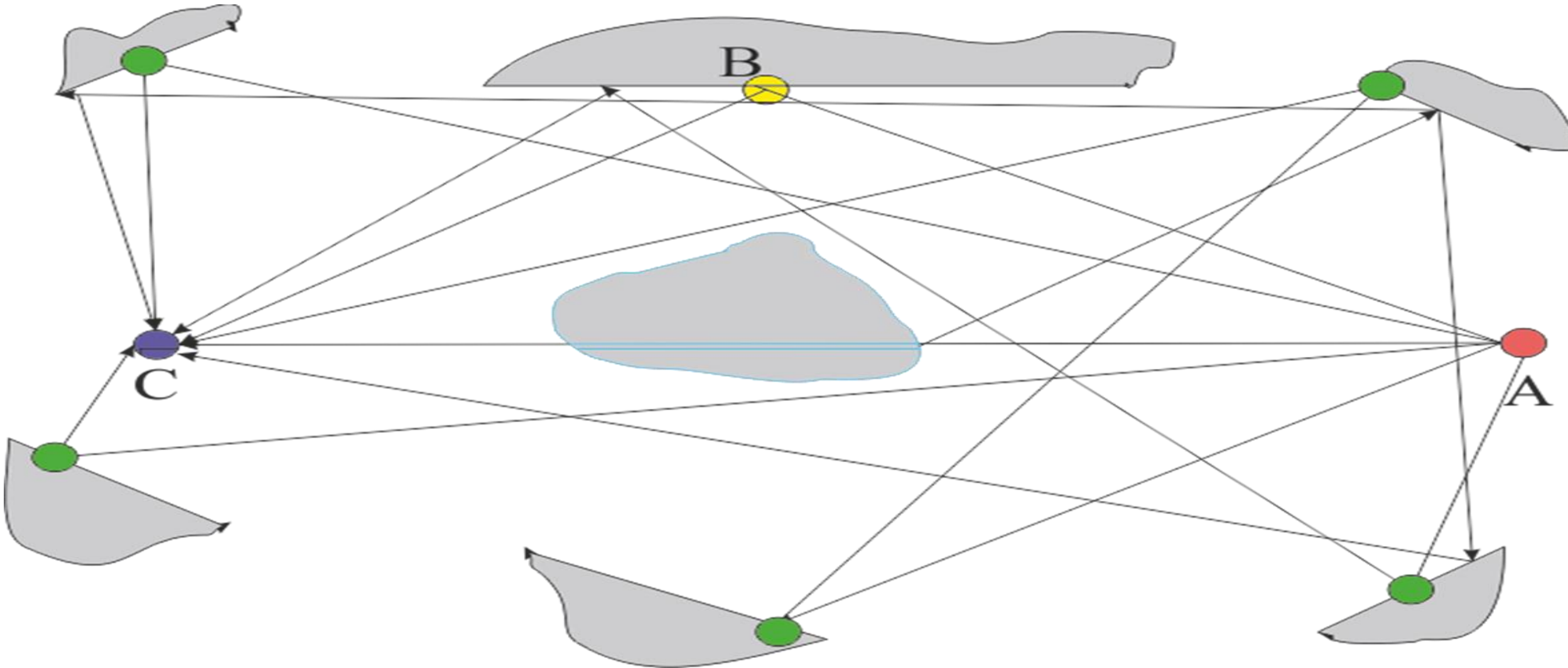
W - смуга пропускання каналу, Гц;

S - повна потужність сигналу над смугою пропускання, Вт або V^2 ;

N - повна шумова потужність над смугою пропускання, Вт або V^2 ;

S/N - відношення сигналу до шуму (SNR) сигналу до гаусівського шуму, виражене як відношення потужностей.

Багатопроменеве розповсюдження без прямого радіоканалу.



ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

- Ray-optical prediction of radio-wave propagation characteristics in tunnel environments/ [Y. P. Zhang, Y. Hwang, and R. G. Kouyoumjian] - Part 2: Analysis and measurements,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 9, pp. 1337–1345, Sep. 1998.
- [2] Radio Wave Characterization and Modeling in Underground Mine Tunnels/ [Mathieu Boutin, Ahmed Benzakour, Charles L. Despins]- *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 23, no.2, pp. 540–549 Feb. 2008
- [3] Strong Theory of the propagation of UHF radiowaves in coal mine tunnels/ [A. Emslie, R. Lagace] - *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 23, no. 2, pp. 192–205, Mar. 1975.

Висновок на основі проведених досліджень

$$\uparrow Q_s(f \rightarrow F_H) \leq \lim_{F_b}$$

- Розглянути математичну модель розповсюдження радіосигналів в умовах замкнутих просторів, що враховує особливості розповсюдження радіохвиль як на засадах оптичних моделей розповсюдження електромагнітних коливань, так і на засадах класичних моделей розповсюдження радіохвиль.
- Урахувати відмінність від класичних моделей розповсюдження радіохвиль, які зазвичай базуються на уяві розповсюдження радіохвиль у вільному просторі та з урахуванням рельєфу місцевості у горизонтальній площині, запропонувати модель з урахуванням поверхні з чотирьох боків та перешкоди всередині замкнутої поверхні.
- На основі моделі розповсюдження радіосигналів в умовах замкнутих просторів, запропонувати вирішення проблеми якісного прийому радіосигналу в цих умовах.

Особисті дослідження



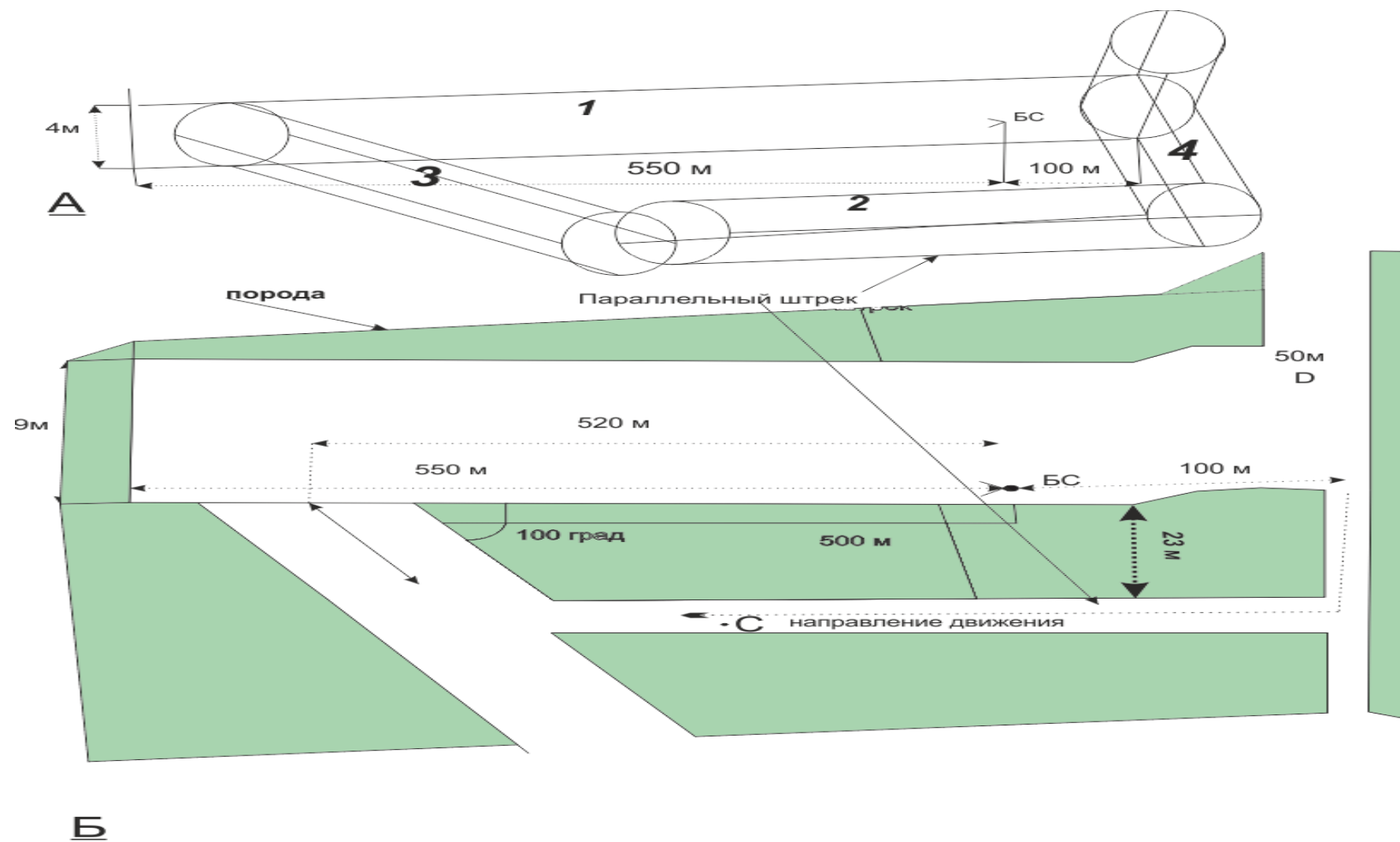
Дослідження у залізорудній шахті



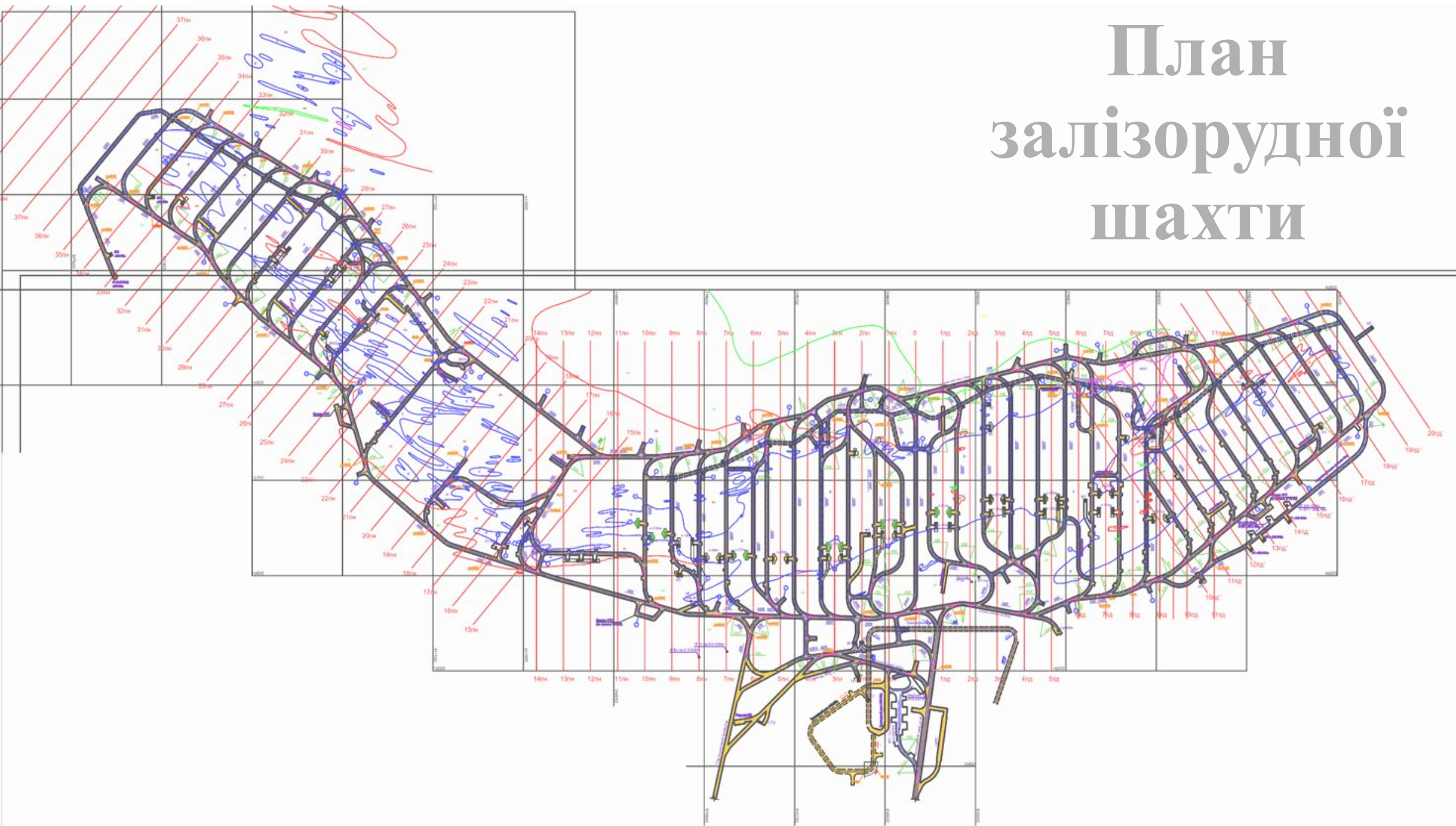
Дослідження у соляній шахті

Схема досліджень покриття базовою станцією LTE у шахті.

горизонт 288, P = 20 dBm (100 мВт)

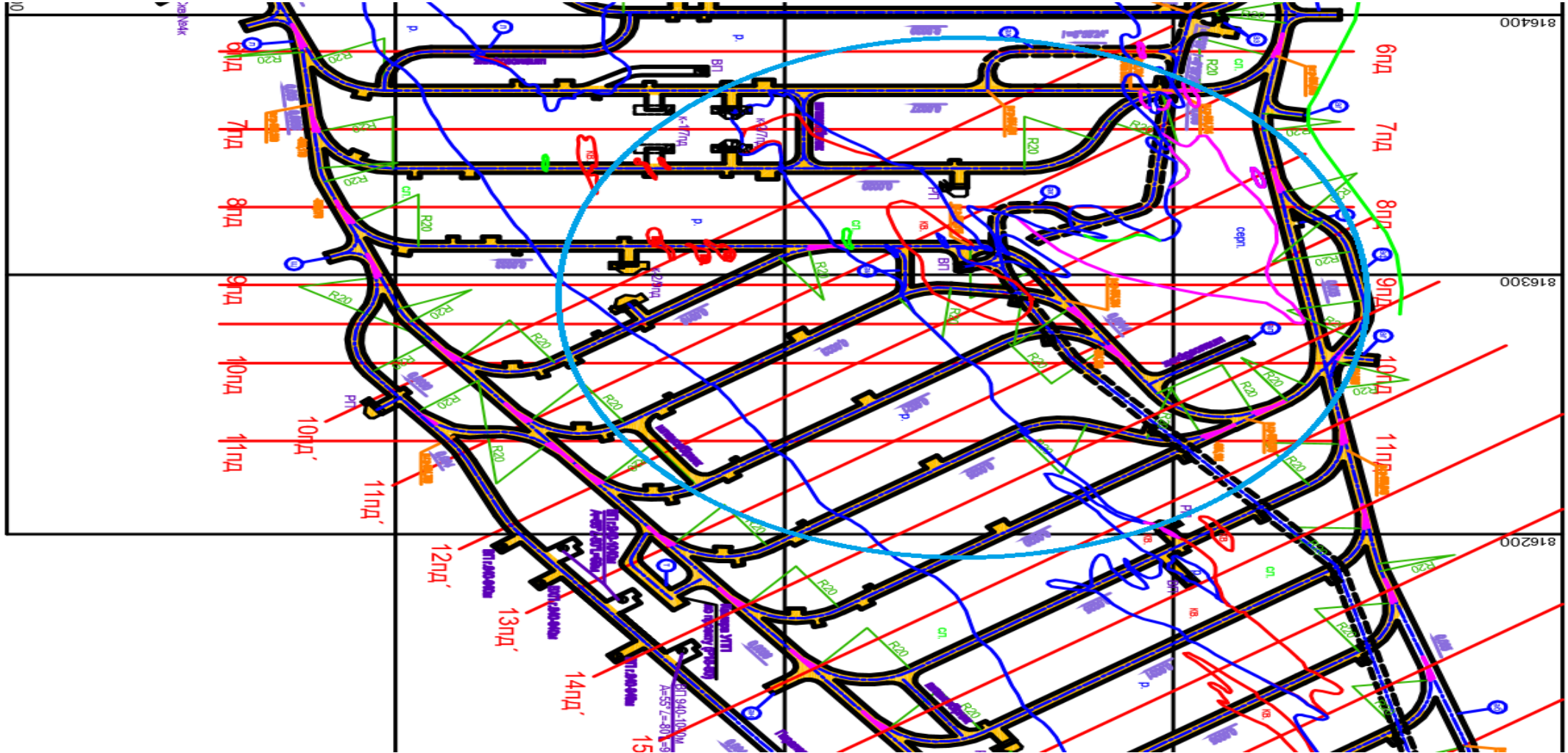


План залізорудної шахти



Примірне радіопокриття, згідно досліджень проведених А. Emslie (Канада)

$$P = 2W$$



Висновки з проведеного аналізу моделей формування електромагнітного поля в замкнутому просторі

- Електромагнітне поле $P_{пр}$ у будь якій точці простору є результатом суперпозиції віртуальних джерел, рівномірно розповсюджених по сферичній поверхні, що знаходиться навколо джерела випромінювання.
- Електромагнітне поле на краях отвору $P_{отв}$ формується за принципом Гюйгенса.
- Електромагнітне поле дифракції $P_{диф}$.
- Електромагнітне поле дифракції $P_{дкр}$ на півплощині.
- Електромагнітне поле відображення $P_{дкр}$, яке формується областю суттєвою для відображення радіопроменя.
- Електромагнітне поле $P_{під}$, що формується як явище підсилення радіосигналу за перешкодою.

Математична модель результуючого електромагнітного поля в замкнутому просторі

$$P_{\text{рез}} = (K_{\text{пр}}P_{\text{пр}} + K_{\text{отв}}P_{\text{отв}} + K_{\text{дкр}}P_{\text{дкр}} + K_{\text{під}}P_{\text{під}} + K_{\text{диф}}P_{\text{диф}})N$$

де K - коефіцієнт, який характеризує внесок кожної складової у підсумкове поле і $0 \leq K \leq 1$,

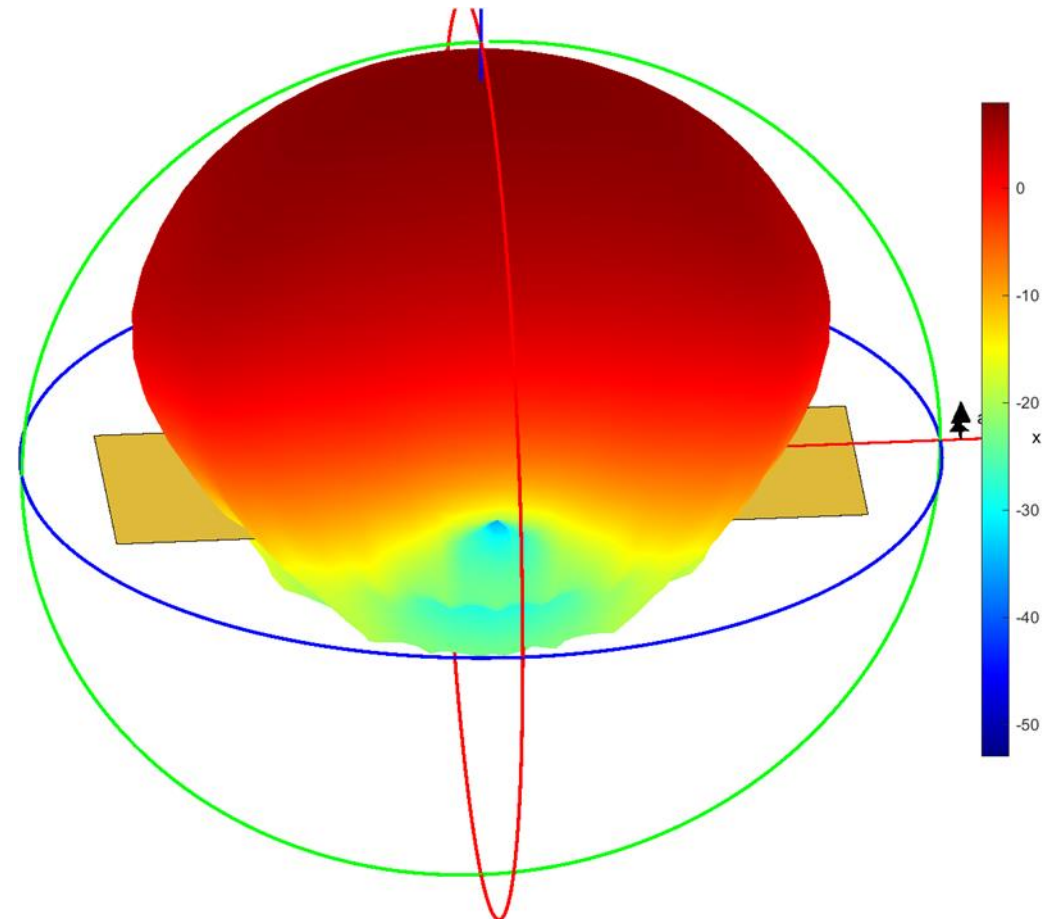
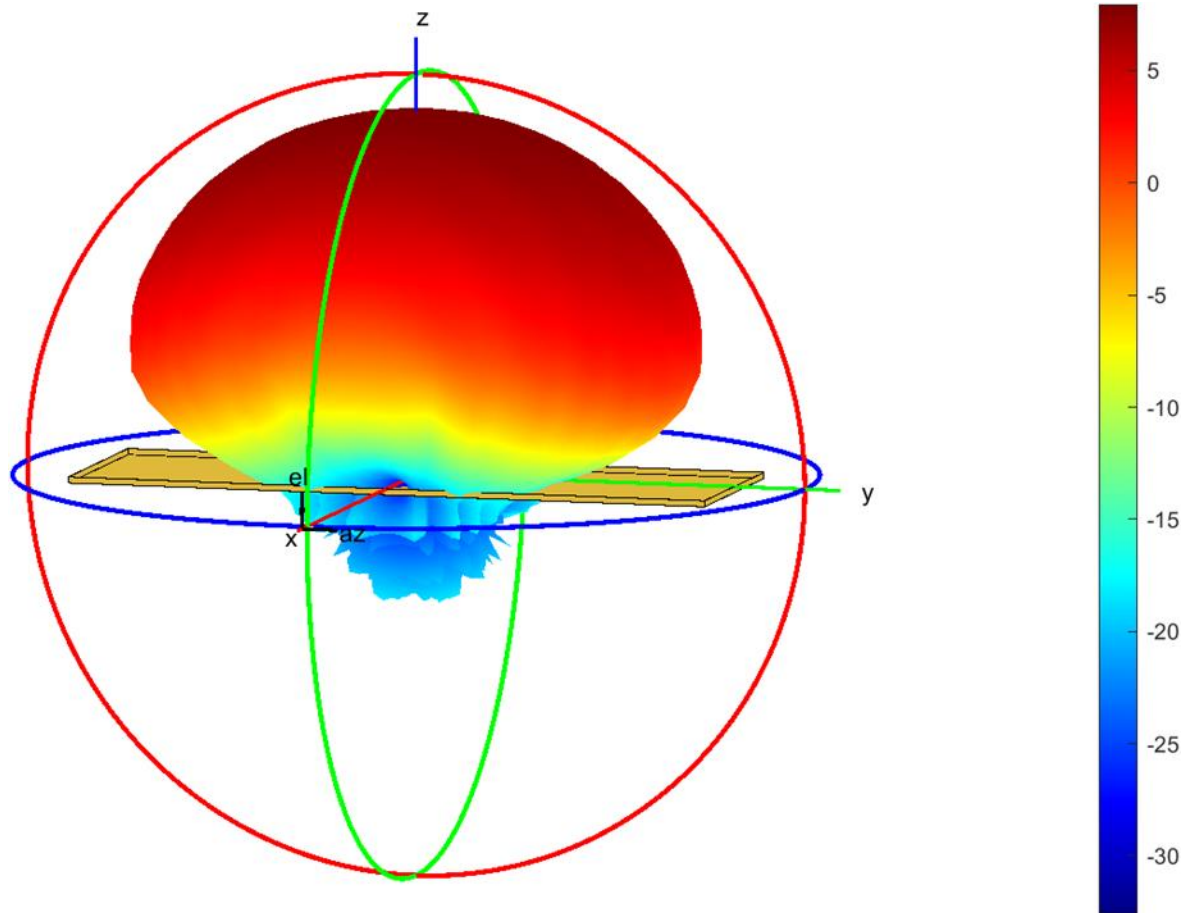
N - коефіцієнт проходження електромагнітної хвилі через середовище.

Практичне застосування

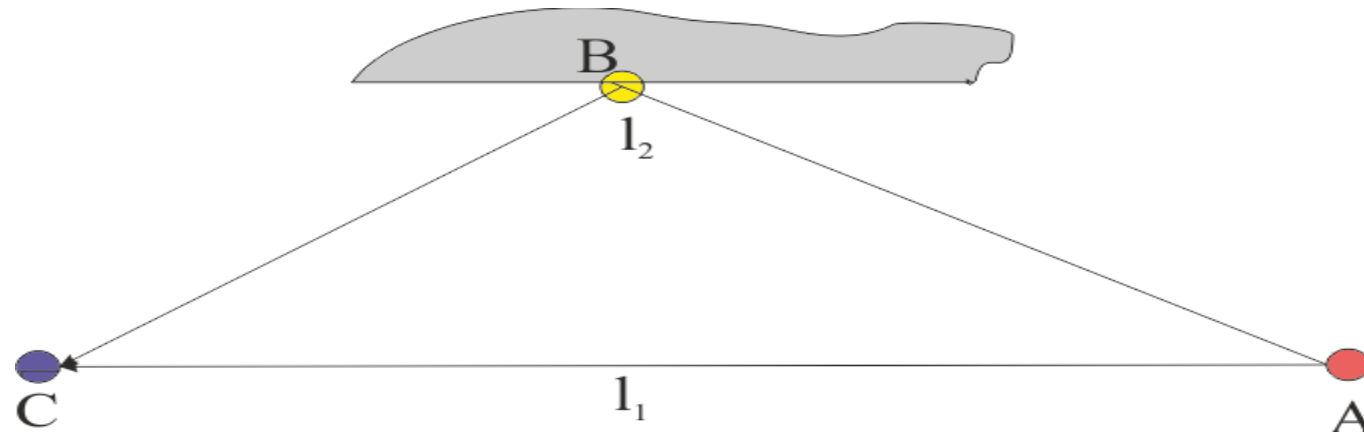


Варіант
невдалого
розміщення
радіопристрою.

Розповсюдження енергії випромінюючого діполя.



Затримка радіосигналу- привід для виникнення явища загасання радіосигналу



$$\Delta\varphi = \frac{2\pi f}{v} (l_2 - l_1) = \psi_2(t) - \psi_1(t)$$

$$\Delta\psi = \frac{2\pi f}{c} \Delta l = \Delta\psi(t)$$

$$f = \frac{c}{2\pi\Delta l} \Delta\psi(t)$$

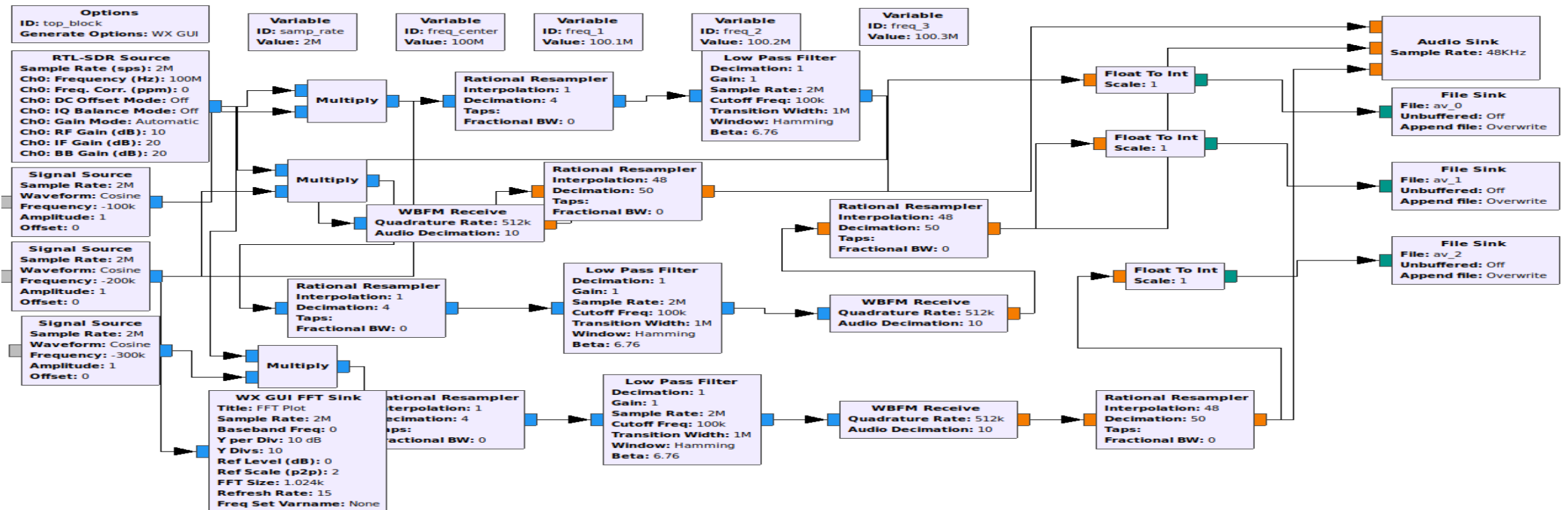
ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПРИЙОМУ РАДІОСИГНАЛУ

Природним способом підвищення якості прийому при багатопроменевому розповсюдженні радіосигналу є багатоканальний радіоприймач.

Нажаль, при класичному виконанні радіопристрій має великі розміри.

Для вирішення цієї задачі запропоновано використання панорамного радіоприймача на засадах SDR технології

Багатоканальний панорамний радіоприймач на засадах SDR, реалізований на платформі GNU-radio



ВИСНОВОК

- Запропоновано математичну модель розповсюдження радіосигналів в умовах замкнутих просторів, що на відміну від класичних моделей розповсюдження радіохвиль, які зазвичай базуються на уяві розповсюдження радіохвиль у вільному просторі та з урахуванням рельєфу місцевості у горизонтальній площині, запропонована модель враховує рельєф поверхні з чотирьох сторін, та перешкоди всередині замкнутої поверхні.
- Вирішена задача якісного радіосигналу в умовах багатопроменевого розповсюдження на основі багатоканального панорамного приймача на засадах SDR-технології.

Література

- [1] Ray-optical prediction of radio-wave propagation characteristics in tunnel environments/ [Y. P. Zhang, Y. Hwang, and R. G. Kouyoumjian] - Part 2: Analysis and measurements,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 46, no. 9, pp. 1337–1345, Sep. 1998.
- [2] Radio Wave Characterization and Modeling in Underground Mine Tunnels/ [Mathieu Boutin, Ahmed Benzakour, Charles L. Despins]- *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 23, no.2, pp. 540–549 Feb. 2008
- [3] Strong Theory of the propagation of UHF radiowaves in coal mine tunnels/ [A. Emslie, R. Lagace] - *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 23, no. 2, pp. 192–205, Mar. 1975.
- [4] Радиотехнические цепи и сигналы/ [И.С.Гоноровский] - М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.
- [5] Теоретические основы радиотехники/ [Б.Р. Левин] – М.: Радио и связь, 1989–656 с.
- [6] Технология Software Defined Radio/[А.Силин] - Беспроводные технологии, №2, 2007-22 с.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ