

Аналіз і синтез випромінюючих систем

Земні радіохвилі

Загальні питання

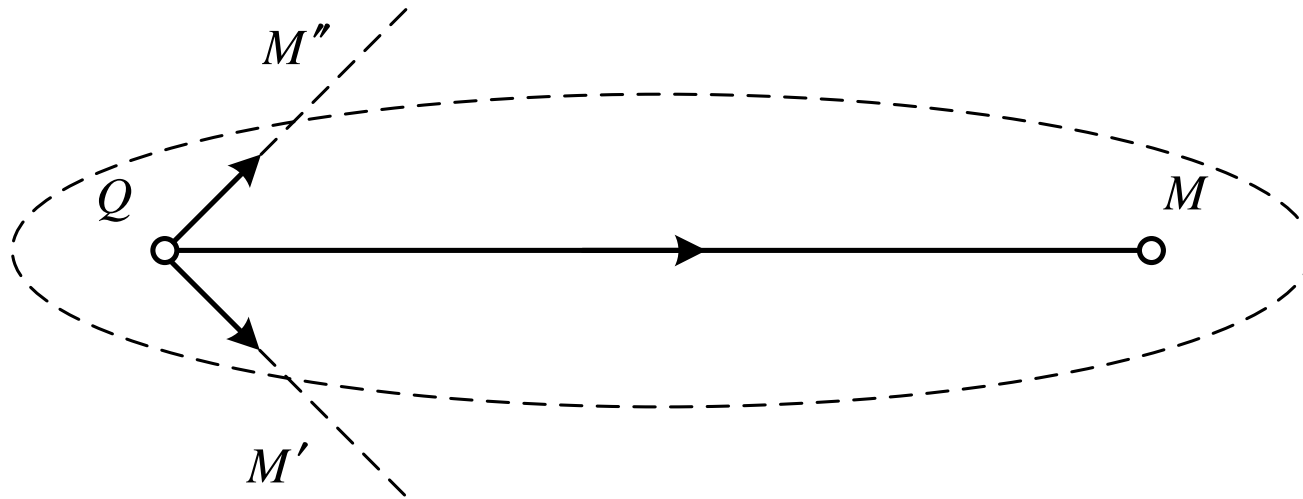
Строгий розв'язок задачі про визначення напруженості поля хвиль, які поширюються над реальною земною поверхнею, при довільному розташуванні випромінювачів доволі складний. Тому при теоретичному вивченні та розрахунку поля земних хвиль будують дещо спрощені моделі. Перш за все вважають атмосферу непоглинаючим середовищем з відносною діелектричною проникністю, рівною одиниці, нульовою питомою провідністю, а поверхню Землі вважають гладкою та однорідною. Потім у формули, отримані таким чином, вносять необхідні поправки.

Практично всі радіолінії, які використовують земні радіохвилі, можна звести до двох основних моделей:

- 1) Передавальну чи приймальну антену, чи обидві ці антени піднято високо (порядка декількох довжин робочої хвилі) над поверхнею Землі, що зазвичай виконується для хвиль, коротших за 20...30 м;**
- 2) Обидві антени розташовано у безпосередній близькості від поверхні Землі, як це має місце у діапазоні гектометрових і кілометрових хвиль.**

Загальні питання

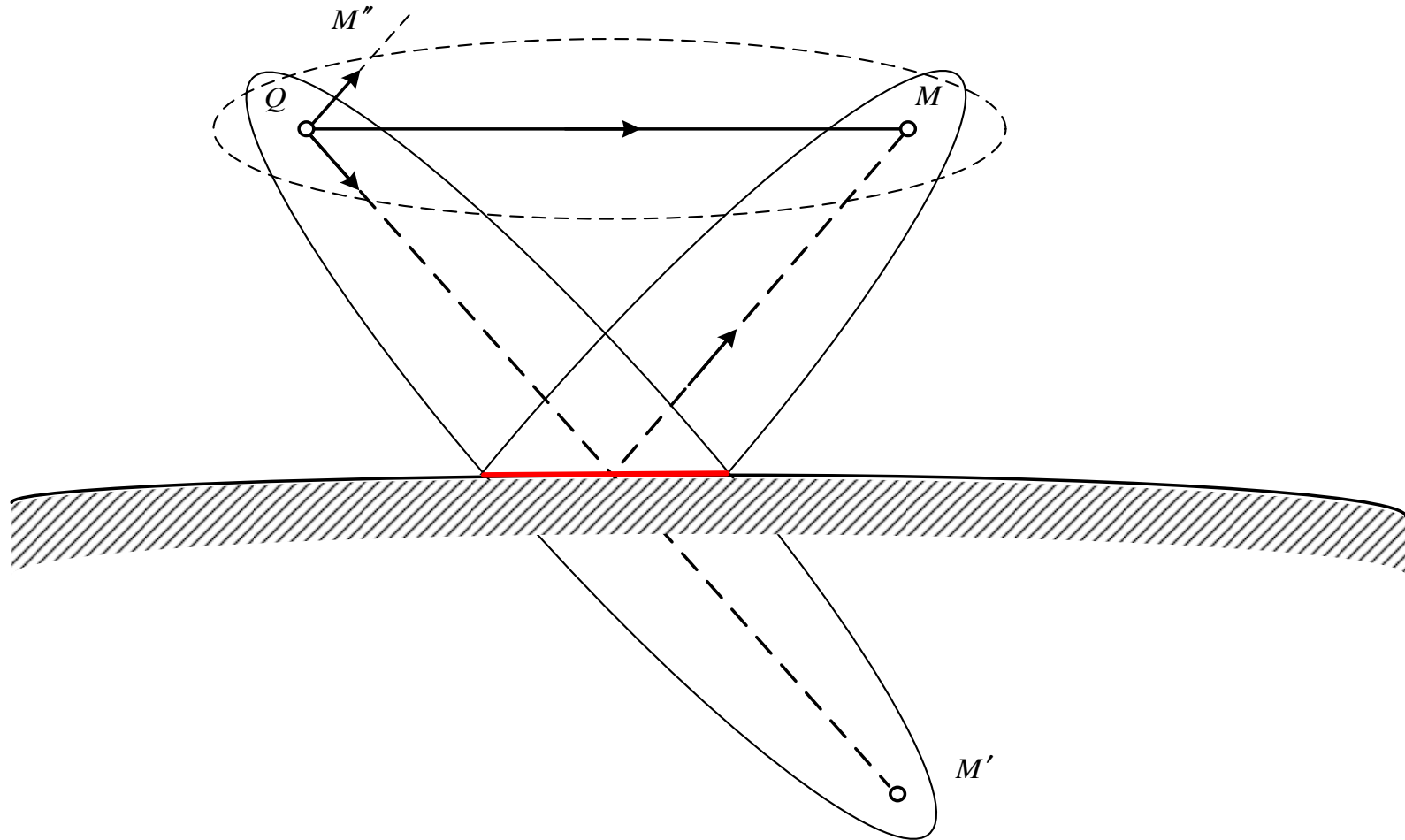
Розглянемо спочатку ідеальний випадок, коли джерело сферичної хвилі Q і точку прийому M розташовано у необмеженому однорідному просторі - рисунок. Власне для такого випадку і було створено уявлення про домінуючу область.



Передача енергії з Q в M цілком визначається процесом у цій області (штрихові лінії на рисунку). А для визначення поля у точці M потрібно лише враховувати прямий промінь QM , інші напрями руху енергії та відповідні їм промені (наприклад, QM' і QM'') не відіграють жодної ролі.

Загальні питання

При розташуванні антен над Землею найпростішим буде випадок, коли їх високо поднято над Землею. Тоді домінантна область для променя QM лежить вище земної поверхні – рисунок.



Загальні питання

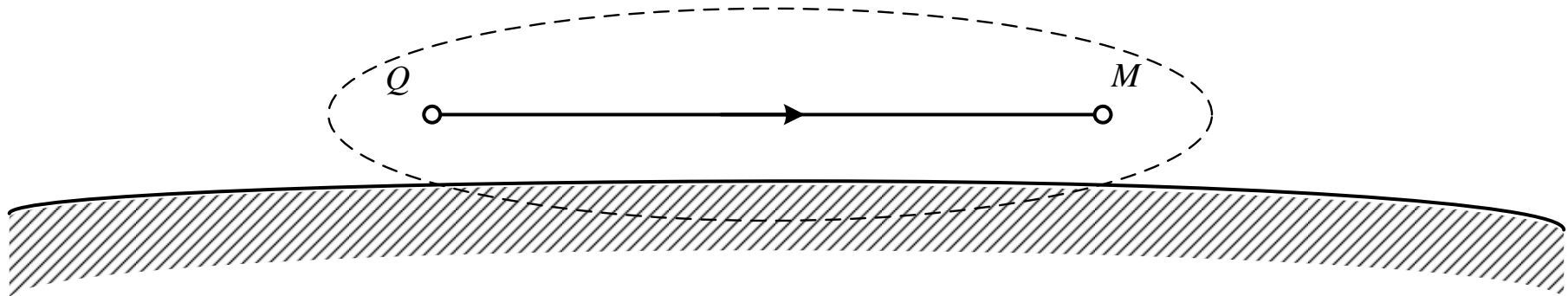
При цьому, на відміну від ідеальної радіолінії, крім прямої передачі з Q в M , потрібно враховувати також відбиття випромінювання від Землі (відрізок червоного кольору на рисунку), а можливо, і навіть від іоносфери.

Оскільки на великих відстанях від Q сферична хвиля є локально плоскою, коректним буде променеве трактування, тобто уявлення про те, що у точку M приходить деякий промінь $QM'M$, відбитий від земної поверхні згідно першого закону Снеліуса. При визначенні відповідної амплітуди беруть до уваги те, що, по-перше, має місце зміна поля з відстанню від Q (уздовж променя) за законом сферичної хвилі і, по-друге, вплив відбиття. Коефіцієнт відбиття можна визначити за формулами Френеля, чи виміряти експериментально.

Зверніть увагу: поверхня Землі лише у певних випадках задовільняє критерію гладкості (критерій Релея), поза цим вона неоднорідна. По-друге, відбиваюча поверхня має задовільняти критерію гладкості та однорідності там, де вона перетинає домінуючу область (відрізок червоного кольору на рисунку). **Яка ж форма та розміри цієї області? Форма – еліпс**, це впливає з курсу нарисної геометрії. Про розміри цього еліпса дещо пізніше.

Загальні питання

Коли антени розташовано поблизу Землі, як показано на рисунку, розгляньте променеве тлумачення неприйнятне.



У цьому випадку перша зона Френеля перекривається земною поверхнею, оскільки сферичність Землі є перешкодою, за якою радіохвилі поширюються лише шляхом дифракції подібно до того, як це відбувається при розташуванні напівплощини на шляху поширення хвилі. **У цьому випадку поле буде сильно послабленим, оскільки у поширенні бере участь лише частина першої зони Френеля та зони вищих порядків, спотворені впливом поверхні Землі. Для зменшення послаблюючої дії Землі потрібно, щоб перша зона Френеля була відкритою, тобто мінімальна відстань між відрізком QM і поверхнею Землі була більшою за радіус першої зони Френеля.**

Загальні питання

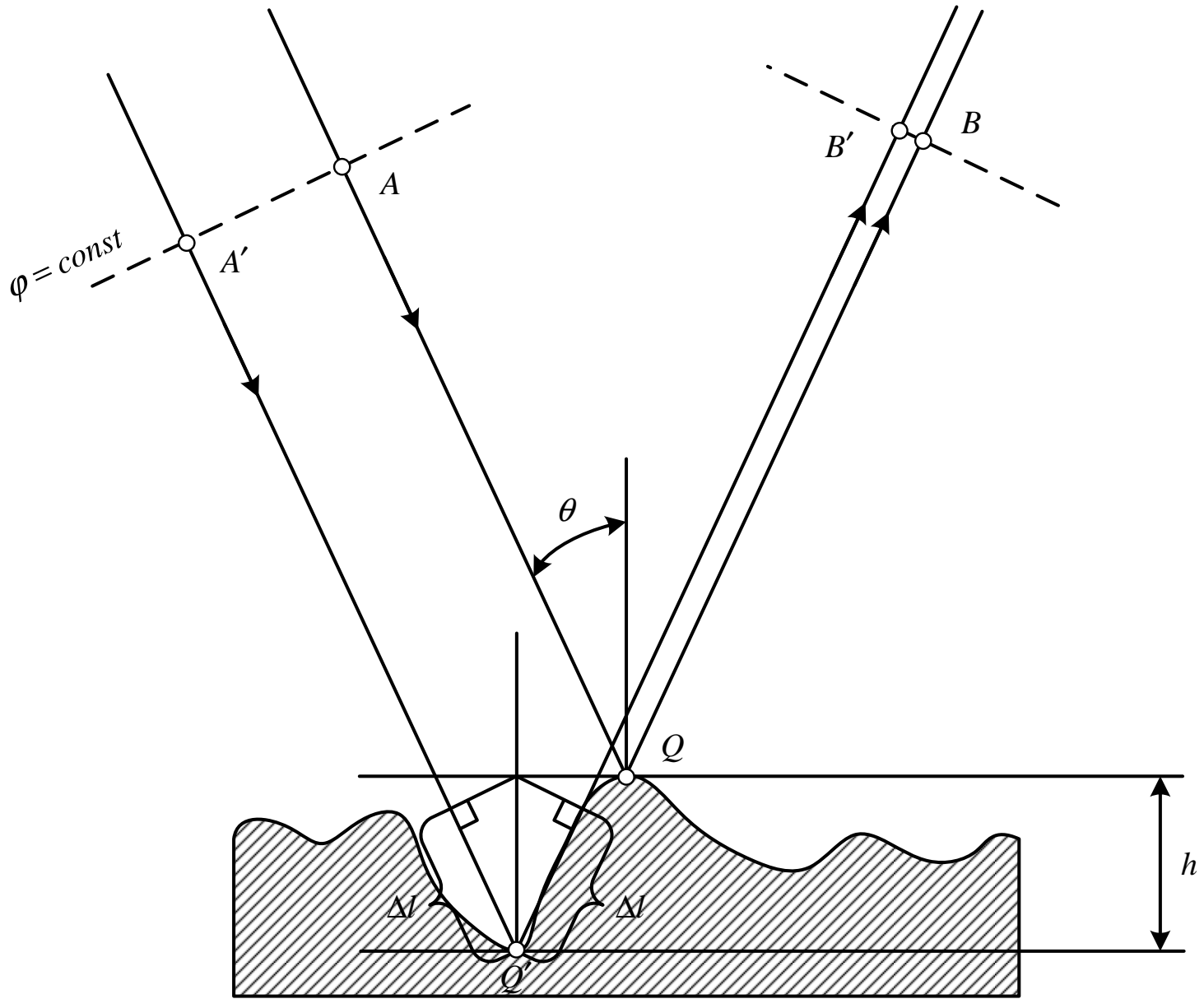
Властивості ґрунтів можуть бути доволі різними, і близько 70 % земної поверхні вкрито водою. Якщо ж взяти до уваги гори, ліси, будівлі тощо, то стає очевидним, що неспрощена постановка задачі про поширення земних радіохвиль неможлива.

Проте при моделюванні умов поширення прийнятні лише ті ідеалізації, за яких суттєве відтворюється із задовільною точністю.

Вплив рельєфу земної поверхні та розташованих на ній нерівностей залежить від розмірів нерівностей та довжини хвилі.

Нехай плоска хвиля відбивається від поверхні з нерівностями, найбільша висота яких становить h (рисунок на наст. слайді). Частина потужності падаючої хвилі відіб'ється на нижньому рівні нерівностей, а інша – на верхньому. Це об'єкт дифракції, і питання в тому, наскільки поле розсіяння відрізняється від плоскої хвилі, яка відбивалася б плоскою границею. Іншими словами, яка непостійність фази поля розсіяння у гіпотетичній площині фронту такої хвилі (лінія BB'). Очевидно, що найбільша різниця ходу променів виявиться між хвилями, відбитими від верхнього (точка Q) і нижнього (точка Q') рівнів нерівностей.

Критерій Релея



Критерій Релея

Відповідна різниця фаз дорівнює різниці оптичних шляхів $A'Q'B'$ є AQB :

$$\Delta\varphi \approx 2k\Delta l = \frac{4\pi h}{\lambda} \cos \theta.$$

Прийнято вважати, що якщо фазові спотворення на площині BB' не перевищують $\pi/2$, то хвилю можна вважати плоскою і впливом нерівностей на відбиття хвилі можна знехтувати. Цьому відповідає висота нерівностей:

$$h \leq \frac{\lambda}{8} \cos \theta.$$

(1)

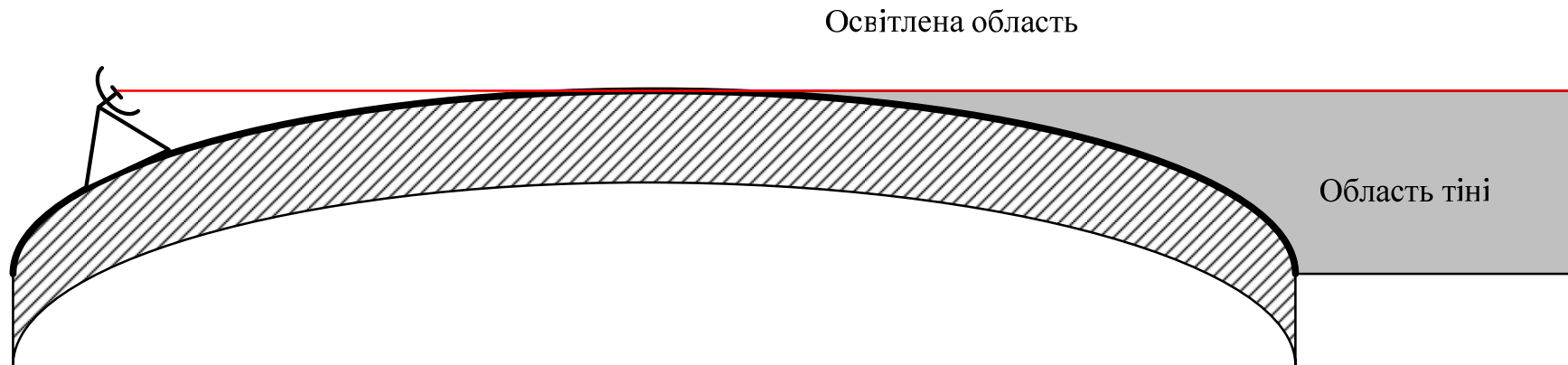
Це співвідношення і називають **критерій Релея**. Він показує, що **при заданній висоті нерівностей відбиття ближче до дзеркального для похило падаючих променів і довших хвиль.**

У діапазонах гектометрових і кілометрових хвиль лісисту місцевість чи навіть місто можна розглядати як рівну поверхню, яку характеризують деякими еквівалентними параметрами, наприклад, коефіцієнтом відбиття для хвилі тієї чи іншої поляризації. **Проте для сантиметрових і міліметрових хвиль навіть невеликі нерівності Землі та схвильоване море спричиняють розсіяне відбиття хвилі.**

Дальність прямої видимості

Прямої ліній, уздовж яких поширюється хвиля, з точки випромінювання можна провести незкінченну кількість. Проте одна з них, розташована найбільш низько за кутом місця – дотична до поверхні Землі, є єдиною. Цю дотичну – пряму, яка йде з точки випромінювання, називають **лінією радіогоризонту**.

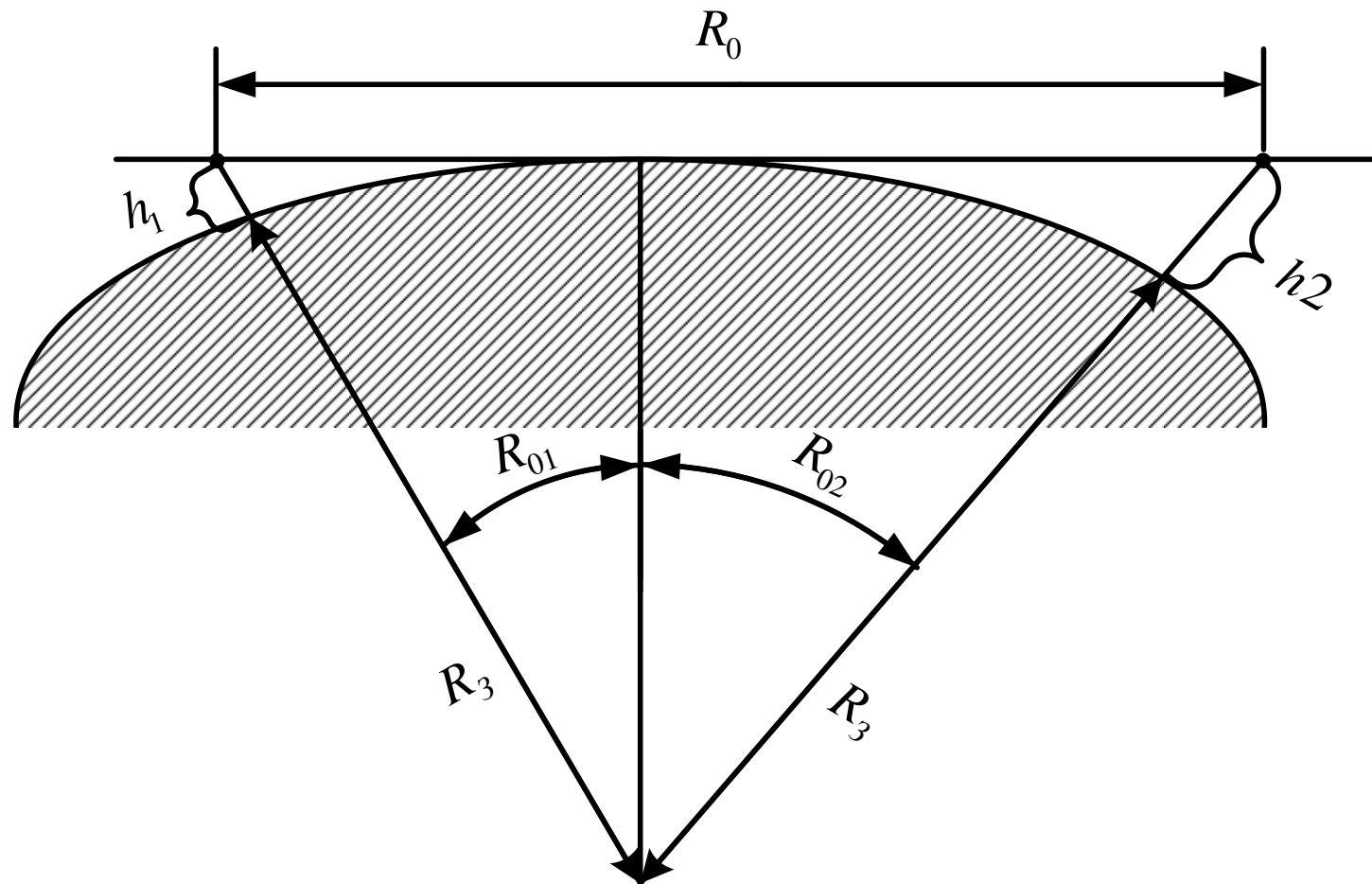
*Лінія радіогоризонту ділить простір над поверхнею Землі на дві області: **освітлену**, розташовану над лінією радіогоризонту, і **область тіні**, розташовану під цією лінією – рисунок.*



Дальність прямої видимості

Для кожної точки на лінії радіогоризонту є певна дальність до джерела випромінювання – **дальність прямої видимості** (відстань радіогоризонту).

Для визначення цієї дальності потрібно використати геометричну побудову – рисунок.



Дальність прямої видимості

З побудови цього рисунка випливає:

$$\begin{aligned} R_0 &= R_{01} + R_{02} = \sqrt{(R_3 + h_1)^2 - R_3^2} + \sqrt{(R_3 + h_2)^2 - R_3^2} = \\ &= \sqrt{2R_3} \left(\sqrt{h_1 + \frac{h_1^2}{2R_3}} + \sqrt{h_2 + \frac{h_2^2}{2R_3}} \right), \end{aligned}$$

h_1 - висота джерела випромінювання над поверхнею Землі;

h_2 - висота тточк спостереження над поверхнею Землі;

R_3 - радіус Землі.

З урахуванням умов:

$$\frac{h_1^2}{2R_3} \ll h_1, \quad \frac{h_2^2}{2R_3} \ll h_2,$$

маємо:

$$R_0 \cong \sqrt{2R_3} \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2} \right). \quad (2)$$

Дальність прямої видимості

У наближенні геометричної оптики радіус Землі дорівнює її геометричному радіусу, тобто 6370 км. При цьому якщо R_0 визначати у кілометрах, а висоти h_1 і h_2 - у метрах, то формулу (2) можна записати так:

$$R_0 [\text{км}] \cong 3,57 \left(\sqrt{h_1 [\text{м}]} + \sqrt{h_2 [\text{м}]} \right). \quad (3)$$

За допомогою цього виразу можна визначити, у якій області перебуває точка спостереження – в освітленій чи області тіні (загальне правило):

якщо $R > R_0$ то точка спостереження перебуває в області тіні;
якщо $R < R_0$ то точка спостереження перебуває в освітленій області.

Тут R відстань від джерела випромінювання до точки спостереження (по поверхні Землі)

З (3) випливає: **дальність прямої видимості збільшується зі збільшенням висоти джерела випромінювання та точки спостереження.** Цю обставину широко використовують у радіозв'язку, телебаченні та радіолокації. **Для збільшення дальності виявлення цілей, які летять на малій висоті, антени РЛС піднімають якомога вище.**

Дальність прямої видимості

Крім цього, залежно від співвідношення між протяжністю радіотраси R і дальністю прямої видимості потрібно вибирати R_0 одну з трьох моделей траси:

- 1) Якщо протяжність траси мала ($R < 0,2R_0$), то поверхню Землі можна вважати плоскою.
- 2) При $0,2R_0 < R < 0,8R_0$ перша зона Френеля не перекривається випуклістю земної поверхні, проте потрібно враховувати вплив сферичності Землі.
- 3) При $R > 0,8R_0$ розрахунок потрібно робити з урахуванням дифракції.

Область, яка лежить на відстані $0,8R_0 < R < 1,2R_0$, називають областю напівтіні, а при $R > 1,2R_0$, розпочинається область тіні.

Дальність прямої видимості

Коли антени розташовано високо над Землею, то ділянку земної поверхні, яка відноситься до радіолінії, вже не можна вважати плоскою. А до розглянутої раніше моделі потрібно внести зміни зміни.

У цьому випадку висоти антен h_1 і h_2 замінюють приведеними висотами \tilde{h}_1 і \tilde{h}_2 (див. рисунок на наступному слайді):

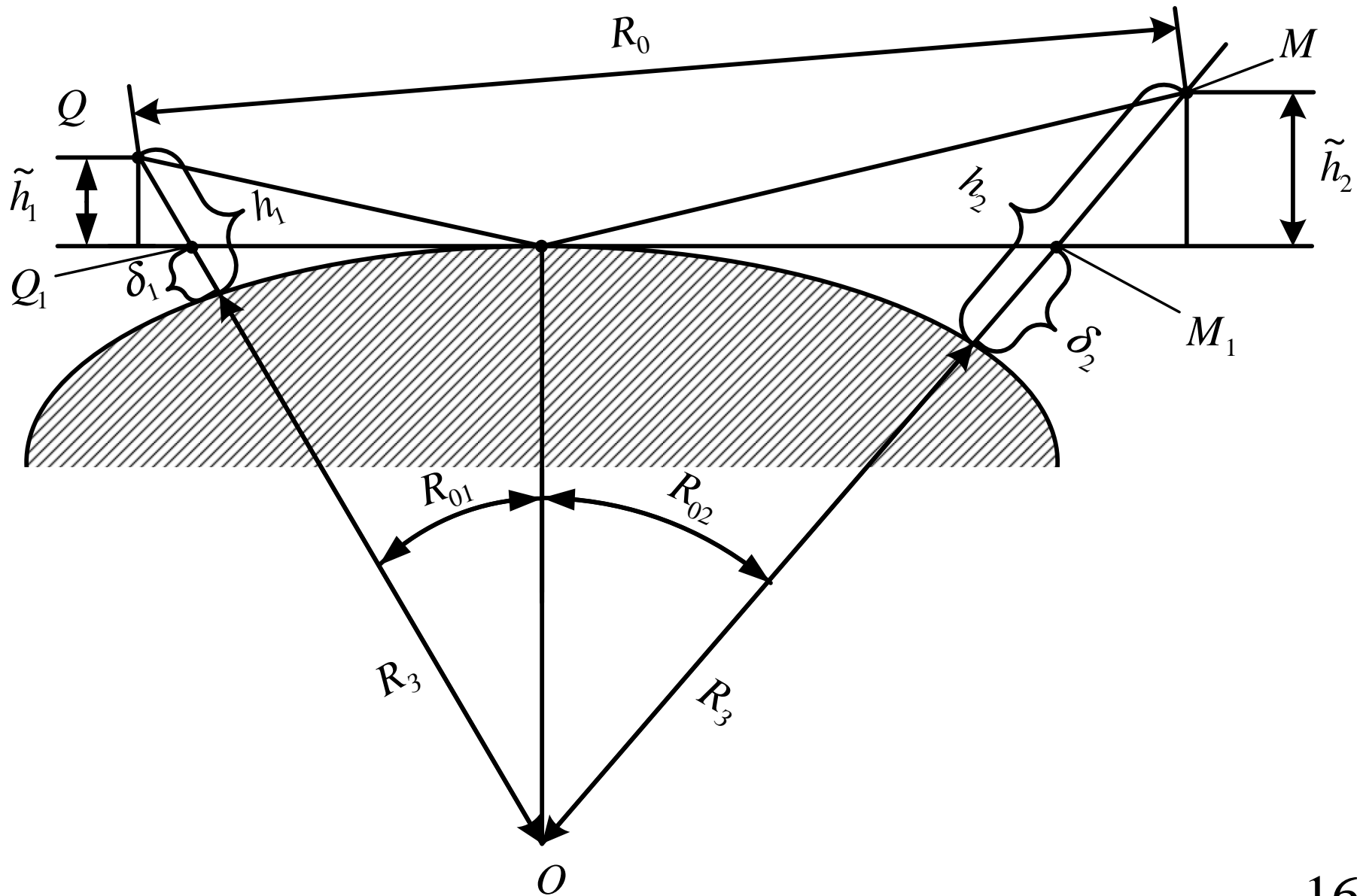
$$\tilde{h}_1 \approx h_1 - \delta_1, \quad \tilde{h}_2 \approx h_2 - \delta_2,$$

δ_1, δ_2 - висоти точок, які перебувають на відстані прямої видимості $Q_1M_1 = R_0$.

З урахуванням цього:

$$R_0 = \sqrt{(R_3 + \delta_1)^2 - R_3^2} + \sqrt{(R_3 + \delta_2)^2 - R_3^2} \approx \sqrt{2R_3} (\sqrt{\delta_1} + \sqrt{\delta_2}). \quad (4)$$

Дальність прямої видимості



Дальність прямої видимості

При отриманні виразу (4) використано такі наближення:

$$R_{01} = \sqrt{(R_3 + \delta_1)^2 - R_3^2} \cong \sqrt{2R_3\delta_1},$$

$$R_{02} = \sqrt{(R_3 + \delta_2)^2 - R_3^2} \cong \sqrt{2R_3\delta_2},$$

$$\delta_1 \cong \frac{R_{01}^2}{2R_3}, \quad \delta_2 \cong \frac{R_{02}^2}{2R_3},$$

$$R_0 \approx R_{01} + R_{02}.$$

У наземній радіолокації повітряних цілей висота антени і її поправка на кривизну Землі значно менша за висоту h_2 та поправки δ_2 . Тому основний внесок у відстань R_0 робить доданок R_{02} , оскільки значення R_{01} невелике і його можна не враховувати. Звідси:

$$R_0 \approx R_{02}, \quad \delta_1 \cong 0, \quad \delta_2 \cong \frac{R_0^2}{2R_3}.$$

Дальність прямої видимості

Приведена висота точки спостереження (цілі) дорівнює:

$$\tilde{h}_2 = h_2 - \frac{R_0^2}{2R_3}.$$

Інженерний варіант цієї ж формули:

$$\tilde{h}_2 [\text{м}] = h_2 [\text{м}] - \frac{R_0^2 [\text{км}]}{12,8}.$$

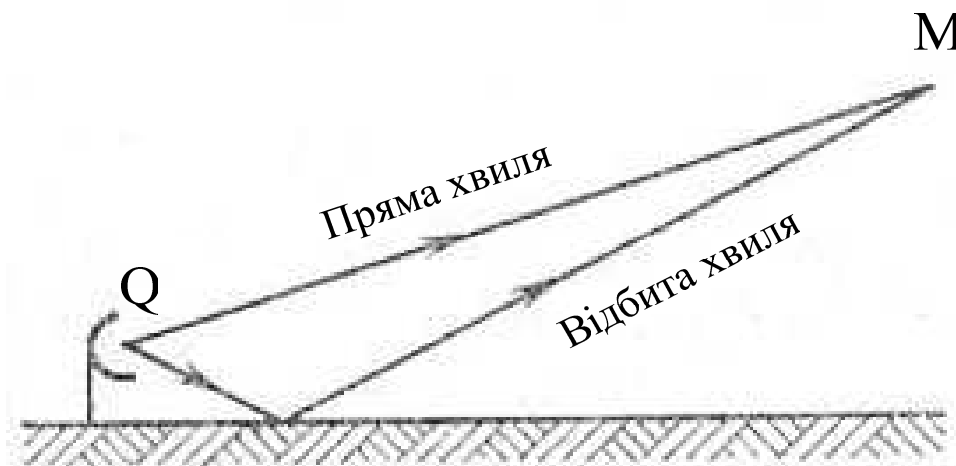
Приведені висоти використовують для урахування сферичності Землі не лише в інтерференційних формулах, але й при побудові координатних сіток, за допомогою яких будують зони видимості РЛС.

Інтерференційний множник

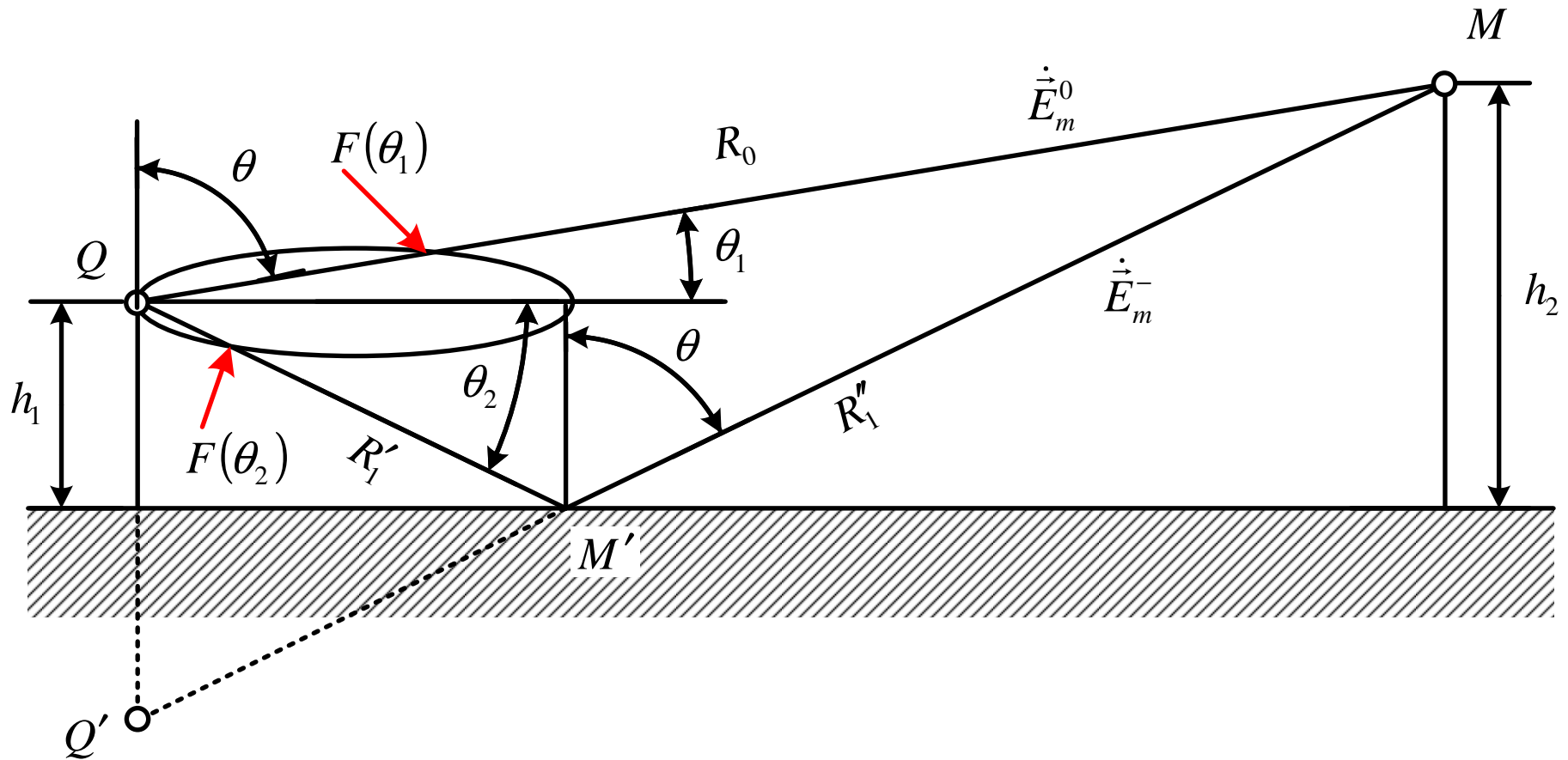
Для використання променевого трактування мають місце такі припущення:

- приймальна та передавальна антени підняті високо, тому домінантна область лежить над Землею;
- відстань між антенами значно менша за радіус Землі, при цьому земну поверхню можна вважати плоскою;
- мається також на увазі її гладкість та однорідність в достатньому околі точки приходу променя при відбитті.

Для знаходження повного поля у точці M (рисунок) потрібно скласти дві хвилі, одна з яких формується при прямому поширенні електромагнітної енергії з Q в M , а друга – при відбитті.



Інтерференційний множник



Інтерференційний множник

Для повітря!

$$\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_m^0 + \dot{\vec{E}}_m^-,$$
$$\dot{\vec{E}}_m^0 = \sqrt{60P_{TX} D(\theta_1, \varphi) F(\theta_1, \varphi)} \frac{e^{-ikR_0}}{R_0}, \quad (5)$$

$$\dot{\vec{E}}_m^- = |R_{\perp, \Pi}| \sqrt{60P_{TX} D(\theta_2, \varphi) F(\theta_2, \varphi)} \frac{e^{-ik(R_1 - \varphi_R)}}{R_0} \quad (6)$$

P_{TX} - потужність передавача;

$D(\theta_1, \varphi)$ - КСД антени передавача у напрямі θ_1 ;

$D(\theta_2, \varphi)$ - КСД антени передавача у напрямі θ_2 ;

$F(\theta, \varphi)$ - ДН антени передавача;

$\dot{R}_{\perp, \Pi} = |R_{\perp, \Pi}| e^{i\varphi_R}$ - коефіцієнт відбиття від Землі для поля відповідної поляризації (коефіцієнти Френеля)

Інтерференційний множник

Визначення інтерференційного множника:

$$\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_m^0 + \dot{\vec{E}}_m^- = \dot{\vec{E}}_m^0 \left(1 + \frac{\dot{\vec{E}}_m^-}{\dot{\vec{E}}_m^0} \right) = \dot{\vec{E}}_m^0 \dot{V}(\theta, \varphi), \quad (7)$$

$$\left| \dot{\vec{E}}_m \right| = \left| \dot{\vec{E}}_m^0 \right| \sqrt{1 + \frac{|\dot{\vec{E}}_m^-|^2}{|\dot{\vec{E}}_m^0|^2} + 2 \frac{|\dot{\vec{E}}_m^-|}{|\dot{\vec{E}}_m^0|} \cos \Delta \varphi} = \quad (8)$$
$$= \left| \dot{\vec{E}}_m^0 \right| \left| \dot{V}(\theta, \varphi) \right|,$$

$$\Delta \varphi = \varphi^- - \varphi^0.$$

Інтерференційний множник виражає ті зміни, яким піддається поле прямої хвилі в результаті інтерференції її з відбитою від Землі хвилею.

Інтерференційний множник

Після підстановки (5) та (6) в (7) і (8), отримаємо:

$$\begin{aligned} \dot{\vec{E}}_m &= \sqrt{\frac{60P_{TX} D(\theta_1, \varphi)}{R_1}} F(\theta_1, \varphi) \times \\ &\times \left[1 + \left| R_{\perp, II} \right| \frac{F(\theta_2, \varphi)}{F(\theta_1, \varphi)} \cdot e^{-i(2kh_1 \cos \theta + \varphi_R)} \right] e^{-ikR_1}. \end{aligned}$$

Інтерференційний множник

Звідси модуль амплітуди поля у точці M :

$$\begin{aligned} \left| \dot{\vec{E}}_m \right| &= \sqrt{\frac{60 P_{TX} D(\theta_1, \varphi)}{R_1}} |F(\theta_1, \varphi)| \times \\ &\times \sqrt{1 + |R_{\perp, \Pi}|^2 \frac{|F(\theta_2, \varphi)|^2}{|F(\theta_1, \varphi)|^2} + 2 |R_{\perp, \Pi}| \frac{|F(\theta_2, \varphi)|}{|F(\theta_1, \varphi)|} \cos(2kh_1 \cos \theta + \varphi_R)} = \\ &= \left| \dot{\vec{E}}_m^0 \right| V(\theta, \varphi). \end{aligned}$$

Інтерференційний множник

Власне інтерференційний множник:

$$|\dot{V}(\theta, \varphi)| = \sqrt{1 + |R_{\perp, \Pi}|^2 \frac{|F(\theta_2, \varphi)|^2}{|F(\theta_1, \varphi)|^2} + 2|R_{\perp, \Pi}| \frac{|F(\theta_2, \varphi)|}{|F(\theta_1, \varphi)|} \cos(2kh_1 \cos \theta + \varphi_R)}.$$

Інтерференційний множник, а з ним і амплітуда результуючого поля, залежить від таких умов:

- *положення точки спостереження по кута місця;*
- *спрямованості дії антени передавача;*
- *особливостей процесу відбиття падаючої хвилі від Землі.*

Інтерференційний множник

Положення точки спостереження по кута місця.

Такий вплив зводиться до нерівномірного розподілу результуючого поля у просторі. У напрямі інтерференційних максимумів воно

Підсилюється у $1 + |R_{\perp, \Pi}| \frac{|F(\theta_2, \varphi)|}{|F(\theta_1, \varphi)|} = 1 + R_{com}$ раз, а у напрямках

інтерференційних мінімумів послаблюється у $1 - R_{com}$ раз.

Причиною такого перерозподілу є інтерференція прямої та відбитої хвиль з різним значенням різниці фаз, обумовленою різницею ходу цих хвиль до точки спостереження.

Інтерференційний множник

Спрямованість дії антени передавача.

Зі збільшенням кута θ_0 (напряма максимуму випромінювання антени передавача) збільшується амплітуда прямої хвилі та одночасно з цим зменшується амплітуда падаючої хвилі, що спричиняє зменшення відношення $|F(\theta_2, \varphi)|/|F(\theta_1, \varphi)|$, а в результаті – до зменшення величини R_{com} .

У свою чергу, це спричиняє зменшення максимальних $1 + R_{com}$ і збільшення мінімальних $1 - R_{com}$ значень інтерференційного множника та обумовлює меншу зрізаність результуючої ДН.

Зі збільшенням кута θ_0 збільшується внесок у результуюче поле прямої хвилі, та зменшується внесок відбитої хвилі. При деякому куті θ_m внесок останньої настільки незначний, що його можна не враховувати. Результуюче поле при цьому створюється в основному за рахунок прямої хвилі. Результуючою ДН стає ДН антени передавача у вільному просторі. В таких випадках кажуть, що ДН антени передавача “відірвано” від Землі.

Якщо максимум випромінювання нахилити до землі, збільшуючи кут нахилу, то це спричинить збільшення амплітуди падаючої хвилі при одночасному зменшенні амплітуди прямої хвилі. Тобто збільшується внесок у результуюче поле відбитої хвилі, та зменшується внесок прямої хвилі.

Інтерференційний множник

Особливості процесу відбиття падаючої хвилі від Землі.

При вертикальній поляризації у ґрунті втрачається більше енергії падаючої хвилі, ніж при горизонтальній.

У наземній радіолокації ця обставина обумовлює перевагу горизонтальної поляризації над вертикальною. Для локації ж морських, а також маловисотних повітряних цілей вигідніше використовувати вертикальну поляризацію. Це пояснюється тим, що тут інтерференційний максимум спрямовано ближче до лінії горизонту, а коефіцієнт відбиття при цьому близький до одиниці.

**Ділянка поверхні, суттєва
для відбиття радіохвиль від Землі**

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

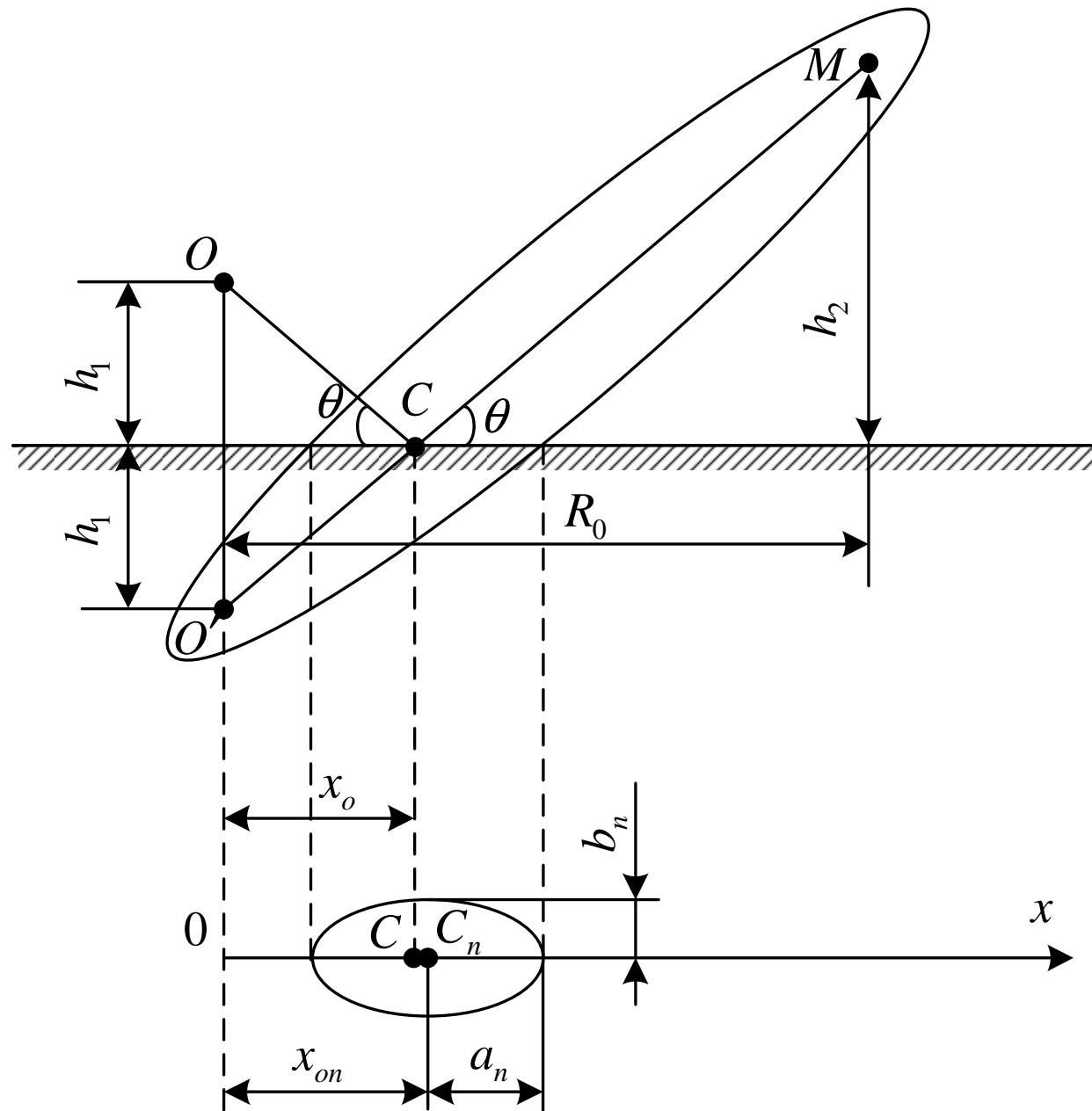
Джерелом відбитої хвилі можна вважати дзеркальне зображення (точка O' , рисунок на наст. слайді) дійсного джерела-источника. Амплітуда та фаза хвилі дзеркального джерела відповідає амплітуді та фазі відбитої хвилі.

Трасою поширення відбитої хвилі є лінія $O'M$. Тому область, суттєва для поширення відбитої хвилі, утворюється еліпсоїдом у точках O' та M . Ділянка поверхні, суттєву для відбиття, визначають як переріз поверхнею Землі цього еліпсоїда.

Форма цього перерізу – еліпс, який обмежує останню з включених у суттєву область зону Френеля. Точки C_1, C_2, \dots, C_n є центрами симетрії еліпсів відповідних зон, а розміри a_n та b_n – піввісями еліпсів.

Таким чином, поверхню Землі можна розглядати в якості хвилевої поверхні з вторинними джерелами випромінювання, результуюче поле яких в точці спостереження утворює поле відбитої хвилі.

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі



Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

Положення та розміри зон Френеля на поверхні землі залежать від співвідношення висот передавальної антени h_1 та приймальної антени (точки спостереження) h_2 .

Наприклад, для радіолокації типовою є ситуація $h_1 < h_2$. У цьому випадку розміри суттєвої зони визначають так:

- відстань від основи антени до центру n -ї зони Френеля

$$x_{0n} = x_0 \left(1 + \frac{n\lambda}{2h_1 \sin \theta} \right), \quad (9)$$

- велика піввісь еліпса n -ї зони Френеля

$$a_n = \frac{1}{\sin \theta} \sqrt{\frac{n\lambda h_1}{\sin \theta} \left(1 + \frac{n\lambda}{2h_1 \sin \theta} \right)}, \quad (10)$$

- мала піввісь еліпса n -ї зони Френеля

$$b_n = a_n \sin \theta. \quad (11)$$

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

Відстань від основи антени до геометричної точки відбиття при цьому визначають так:

$$x_0 = h_1 \operatorname{ctg} \theta. \quad (12)$$

У радіолокації висоту антени потрібно вибирати з дотриманням певних умов.

За однією з таких умов геометричний промінь від дзеркального зображення ($O'M$) потрібно спрямувати під кутом максимального випромінювання θ_{\max} , який визначають так:

$$\sin \theta_{\max} = \frac{\lambda}{4h_1}. \quad (13)$$

Умову (13) потрібно використати у формулах (9) - (12). Але! Перш ніж це робити, потрібно домовитись про кількість зон Френеля, враховуваних у суттєвій області. Так, за висоти нерівностей, набагато менших за довжину хвилі, сумарне відбите поле приблизно дорівнює полю, обумовленому половиною першої зони. Зі збільшенням нерівностей потрібно враховувати вплив кількох зон. У більшості практичних випадків, у т. ч. мобільного зв'язку, вважають за доцільне враховувати лише першу зону Френеля.

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

У цьому випадку розміри та положення суттєвої для відбиття області визначаються співвідношеннями:

$$\begin{aligned}x_{01} &= 12 \frac{h_1^2}{\lambda}, \\a_1 &= 8\sqrt{2} \frac{h_1^2}{\lambda}, \\b_1 &= 2\sqrt{2}h_1.\end{aligned}\tag{14}$$

З (14) випливає, що **зі збільшенням висоти антени збільшуються розміри суттєвої області для відбиття та її віддалення від місця розташування антени.** Цю закономірність потрібно враховувати при виборі площадки, на якій має розташовуватись РТС.

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

Іноді для розрахунку суттєвої області зручніше користуватись формулами, у яких використовують відстань по горизонтальній площині від передавальної антени до приймальної антени (точки спостереження) R_0 :

$$\begin{aligned}a_n &= \frac{R_0 \sqrt{n\lambda R_0 (n\lambda R_0 + 4h_1 h_2)}}{2 n\lambda R_0 + (h_1 + h_2)^2}, \\b_n &= \frac{1 \sqrt{n\lambda R_0 (n\lambda R_0 + 4h_1 h_2)}}{2 n\lambda R_0 + (h_1 + h_2)^2}, \\x_0 &= R_0 \frac{h_1}{h_1 + h_2}.\end{aligned}\tag{15}$$

Зміщення центру n -ї зони відносно геометричної точки відбиття становить при цьому:

$$c_n = R_0 \frac{h_2 - h_1}{2(h_2 + h_1) \left[1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{n\lambda R_0} \right]}.\tag{16}$$

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

Вирази (15) справедливі для будь-якого співвідношення висот h_1 та h_2 у наближенні, що поверхня землі плоска.

Бувають ситуації, коли необхідні розміри суттєвої зони неможливо забезпечити.

Які тоді мінімально допустимі розміри цієї області можна взяти?

Мінімально допустимі розміри приймають такими, за яких амплітуда відбитого поля буде такою ж самою, як і за необмеженої відбиваючої площадки, тобто рівною $B_1/2$. Ця вимога виконується, **якщо відбиваюча поверхня охоплює не всю першу зону, а лише третю частину її площі.**

Мінімальна область для відбиття радіохвиль також має форму еліпса.

Ділянка поверхні, суттєва для відбиття радіохвиль від Землі

Тоді мінімальні розміри області та її положення визначають за такими виразами:

$$\begin{aligned} a_{\min} &= \frac{R_0 \sqrt{\frac{1}{3} \lambda R_0 \left(\frac{1}{3} \lambda R_0 + 4h_1 h_2 \right)}}{2 \frac{1}{3} \lambda R_0 + (h_1 + h_2)^2}, \\ b_{\min} &= \frac{1 \sqrt{\frac{1}{3} \lambda R_0 \left(\frac{1}{3} \lambda R_0 + 4h_1 h_2 \right)}}{2 \frac{1}{3} \lambda R_0 + (h_1 + h_2)^2}, \\ x_{0\min} &= x_0 + R_0 \frac{h_2 - h_1}{2(h_1 + h_2) \left[1 + \frac{(h_1 + h_2)^2}{\frac{1}{3} \lambda R_0} \right]}. \end{aligned} \tag{17}$$

Размеры площадки вокруг РЛС и требования к ней

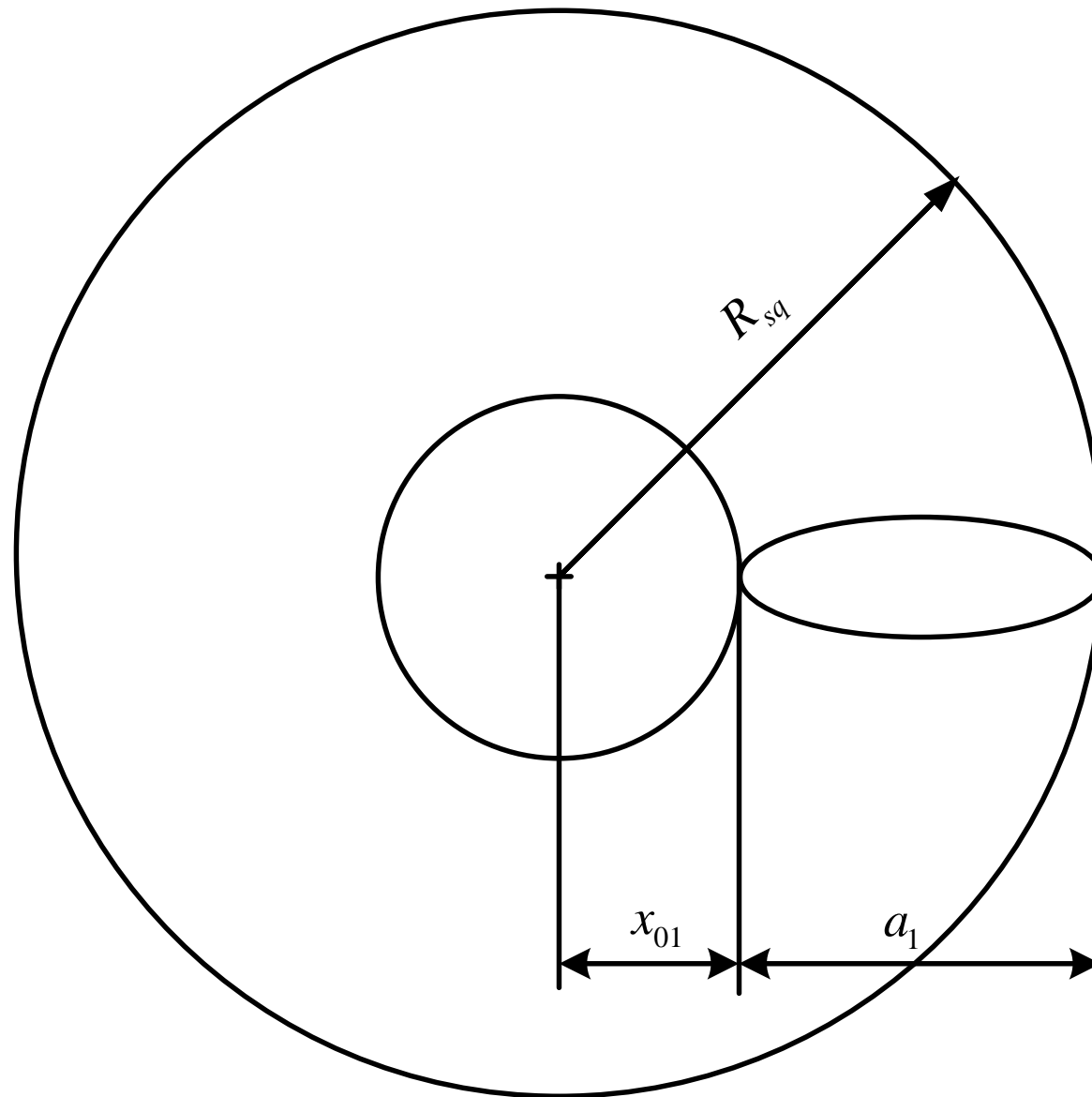
Якщо зона виявлення РЛС формується з використанням відбитих від землі радіохвиль, розміри рівної площадки довкола РЛС повинні бути не менші розміру суттєвої для відбиття області. Вважають, що нею може бути перша зона Френеля. Лише у виняткових випадках, описаних раніше, може бути менша суттєва область.

Тому довкола РЛС кругового огляду потрібно мати рівну площадку (згадуємо критерій Релея) у вигляді кільцевої смуги, ширина якої дорівнює більшій осі еліпса – рисунок на наст. слайді.

Радіус такої площадки становить

$$R_{sq} = x_{01} + a_1. \quad (18)$$

Розміри площадки довкола РЛС та вимоги до неї



Радіус площадки довкола РЛС