

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ZOCF4313>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университете

***А. С. Звонцов¹, А. П. Кислов², Н. А. Дубинец³,
Л. Г. Мухамедеева⁴**

^{1,2,3,4}Торайгыров университет, Республика Казахстан, г. Павлодар

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОЛНЫ НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА И МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕННОСТИ РОМБИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ

В статье рассмотрены вопросы распространения электромагнитных волн в ромбической антенне – незамкнутой системе проводов, подвешенных высоко над землей, по которой текут переменные токи.

Разобраны теоретические и практические вопросы, связанные с направленностью антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Определенные полученные показатели значений направленности антенны для максимально применимой частоты и оптимальной рабочей частоты позволят производить работы для решения специальных задач, где существенна точная направленность излучения.

Показаны расчеты, определяющие электромагнитное поле внутри волновода с учетом граничных условий, которым должны удовлетворять векторы электрического и магнитного поля для увеличения диаграммы направленности антенны.

Были рассмотрены волны электрического типа для вертикальной плоскости и магнитного типа для горизонтальной плоскости распространения электромагнитной волны.

Приведены линейные и нелинейные зависимости для незатухающей волны с вещественной постоянной.

Даны расчеты, которые показывают, что данные конструктивные размеры и тип антенны применимы к минимальным значениям излучения электромагнитной волны, что соответствует ее направленному распространению.

Ключевые слова: диаграмма направленности, электрическое поле, магнитное поле, электромагнитная волна, ромбическая антенна.

Введение

Любой провод, по которому течет переменный ток, излучает электромагнитные волны. Однако если ток замкнут и выполнено условие квазистационарности – расстояние между проводами должно быть весьма мало по сравнению с длиной волны – то излучения практически не будет.

В то же время будем предполагать, что провода – длинные, значит на их длине должно укладываться по меньшей мере несколько волн

Если волна бегущая, то ток и напряжение колеблются в одинаковых фазах, поскольку волновое сопротивление величина вещественная.

В бегущей волне электрический и магнитный векторы перпендикулярны к проводам, а вектор Пойтинга параллелен им. Поэтому возникает поток энергии, параллельный проводам, как это и должно быть.

Методы

1. Расчет входных данных

Найдем геоцентрический угол θ при протяженности трассы $r=2000$ км:

$$\theta = \frac{2000}{222,4} \quad (1)$$

В нашем случае $\theta = 8,99^\circ$

Определение угла падения φ_0 при действующей высоте слоя $h_d=300$ км, $a=6370$ км

$$\operatorname{tg}(\varphi) = \frac{a \cdot \sin \theta}{h_d + a(1 - \cos \theta)} \quad (2)$$

В нашем случае $\operatorname{tg} \varphi = 2,63$ и $\varphi = 69.19^\circ$

Определение критической частоты $f_{\text{кр}}$

$$f_{\text{кр}} = \sqrt{80.8 \cdot N} \quad (3)$$

где N – электронная концентрация молекул

При $N = 10^{12} \text{ м}^{-3}$ $f_{\text{кр}}$ равна $8,98 \cdot 10^{12}$ Гц

Найдем максимально применимую частоту (МПЧ) из выражения

$$\text{МПЧ} = f_{\text{кр}} \cdot \sec(\varphi) \quad (4)$$

В нашем случае $25.3 \cdot 10^6$ Гц

Определим оптимальную рабочую частоту ОРЧ из выражения

$$\text{ОРЧ} = 0.7 \cdot 25.3 \cdot 10^6 = 17,7 \cdot 10^6 \text{ Гц}$$

Определим диапазон длин волн для ромбической антенны из выражений

$$\lambda_{\text{min}} = \frac{c}{\text{МПЧ}} \quad (6)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\text{кр}}} \quad (7)$$

Тогда, $\lambda_{\min} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{25,3 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 11,85 \text{ м}$. $\lambda_{\max} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{17,7 \cdot 10^6 \text{ Гц}} = 33,37 \text{ м}$

2. Определение конструктивных размеров ромбической антенны
Из формулы нахождения стороны ромба

$$L = \frac{\lambda}{2 \cdot \sin^2 \Delta} \quad (8)$$

где

Δ – угол возвышения, градусы;

– длина волны, м;

L – длина стороны ромба, м.

Принимаем длину стороны антенны $L = 150 \text{ м}$, а рабочую длину волны $\lambda = 25 \text{ м}$

Высота подвеса ромбической антенны определяется по формуле

$$H = \frac{\lambda}{4 \cdot \sin \Delta} \quad (9)$$

В нашем случае

Оптимальное значение тупого угла Φ определяется из формулы

$$\Phi = 90 - \Delta \quad (10)$$

В нашем случае $\Phi = 73,2^\circ$

3. Расчет диаграммы направленности антенны одиночного вибратора в двух плоскостях.

В вертикальной плоскости формула для диаграммы направленности ромбической антенны имеет вид

$$F(\Delta) = \frac{\cos(\Phi)}{1 - \sin(\Phi) \cos(\Delta)} \cdot \sin^2 \left[\frac{kL}{2} (1 - \sin(\Phi) \cos(\Delta)) \right] \times \sin(kH \sin(\Delta)) \quad (11)$$

где k – порядок решетки. $k \in [1..15]$

В горизонтальной плоскости формула для диаграммы направленности ромбической антенны имеет вид

$$F(\varphi) = \left[\frac{\cos(\Phi + \varphi)}{1 - \sin(\Phi + \varphi)} + \frac{\cos(\Phi - \varphi)}{1 - \sin(\Phi - \varphi)} \right] \times \quad (12)$$

$$\times \left\{ \sin \left[\frac{kL}{2} (1 - \cos(\Phi + \varphi)) \right] \right\} \cdot \left\{ \sin \left[\frac{kL}{2} (1 - \cos(\Phi - \varphi)) \right] \right\}$$

где k – порядок решетки. $k \in [1..15]$

Результаты

Таблица 1– Данные по направленности антенны одиночного вибратора в двух плоскостях (E,H)

Порядок решетки k	Направленность антенны одиночного вибратора в вертикальной плоскости	Направленность антенны одиночного вибратора в горизонтальной плоскости H
1	0.0044	-0.002
2	0.035	0.006
3	0.115	-0.006
4	0.261	-0.0005
5	0.483	0.011

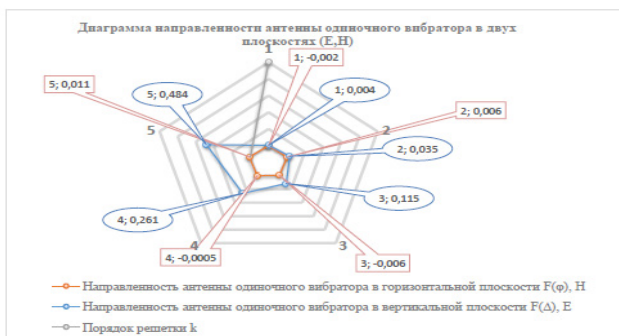


Рисунок 1 – Диаграмма направленности антенны одиночного вибратора в двух плоскостях (E,H)

Расчет диаграммы направленности антенны с учетом множителя решетки бегущей волны [4, с. 16–19].

В горизонтальной плоскости формула имеет вид

$$F_{c_{\text{кобщ}}}(\varphi) = F_k(\varphi) \cdot F_{c_k}(\varphi) \tag{13}$$

где

$F_k(\varphi)$ направленность антенны одиночного вибратора;

$F_{c_k}(\varphi)$ –множитель решетки бегущей волны

$F_{c_{\text{кобщ}}}(\varphi)$ –общая направленность антенны в горизонтальной плоскости.

Множитель решетки бегущей волны; $F_{c_k}(\varphi)$ находится по формуле

$$F_{c_k}(\varphi) = \frac{\sin(\frac{nk d}{2}(\xi - \cos(\varphi)))}{\sin(\frac{k d}{2}(\xi - \cos(\varphi)))} \tag{14}$$

где n – число вибраторов. $n \in [20 \div 30]$. Принимаем $n=20$ d-шаг волны, м. В нашем случае 3,55 м.

Таблица 2 – Данные по направленности антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в горизонтальной плоскости $F(\varphi)$, Н

Порядок решетки k	Направленность антенны одиночного вибратора $F_k(\varphi)$	Множитель решетки бегущей волны $F_{c_k}(\varphi)$	Общая направленность антенны в горизонтальной плоскости $F_{c_{\text{кобщ}}}(\varphi)$
$k=1$	-0.002	19.32	-0.04
$k=2$	0.006	17.39	0.107
$k=3$	-0.006	14.42	-0.09
$k=4$	-0.0005	10.76	-0.005
$k=5$	0.011	6.84	0.078



Рисунок 2 – Общая направленность антенны в горизонтальной плоскости

F(φ), H**Обсуждение**

В вертикальной плоскости формула имеет вид

$$F_{\text{кобщ}}(\Delta) = F_k(\Delta) \cdot F_{c_k}(\Delta) \quad (15)$$

где

F_k(Δ) – Направленность антенны одиночного вибратора;F_{c_k}(Δ) – Множитель решетки бегущей волны;F_{кобщ}(Δ) – Общая направленность антенны в вертикальной плоскостиМножитель решетки бегущей волны F_{c_k}(Δ) определяется по формуле

$$F_{c_k}(\Delta) = \sin(kh \sin \Delta) \quad (16)$$

Таблица 3– Данные по направленности антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в вертикальной плоскости

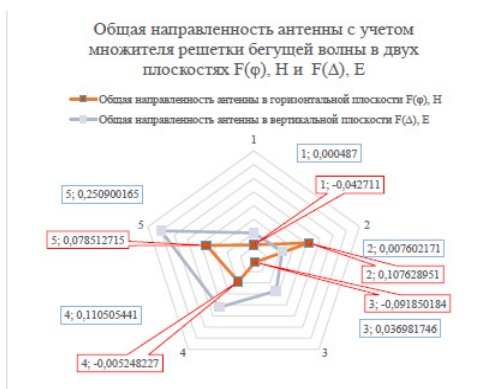
Порядок решетки k	Множитель решетки	Общая направленность антенны в вертикальной плоскости F(Δ), E
1	0.108	0.000487
2	0.216	0.007
3	0.321	0.0369
4	0.422	0.110
5	0.518	0.250

Данные по таблице 4 представлены на рисунке 4.

Рисунок 3 – Расчет диаграммы направленности антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в вертикальной плоскости F(Δ), E

Таблица 4 – Общая направленность антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в двух плоскостях $F(\varphi)$, H и $F(\Delta)$, E

Порядок решетки k	Общая направленность антенны в горизонтальной плоскости $F(\varphi)$, H	Общая направленность антенны в вертикальной плоскости $F(\Delta)$, E
1	-0.04	0.00048
2	0.107	0.0076
3	-0.09	0.036
4	-0.005	0.111
5	0.078	0.251

Рисунок 4 – Общая направленность антенны с учетом множителя решетки бегущей волны в двух плоскостях $F(\varphi)$, H и $F(\Delta)$, E

Выводы

Определено, что антенна, работающая на высоких частотах и использующая метровые волны имеет направленные свойства со слабым выражением для одиночного вибратора. На практике выполняют антенну в виде антенной решетки для повышения диаграммы направленности, элементами которой являются вибраторы в качестве множителя решетки.

Благодаря полям излучения электрического типа для вертикальной плоскости и магнитного типа для горизонтальной плоскости существует электромагнитная связь распространения волны.

Это физическое свойство оказывает влияние на основные характеристики и параметры антенны в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 **Андрусевич, Л. К.** Антенно-фидерные устройства : Методические указания по курсовому проектированию / Л. К. Андрусевич, А. А. Ищук, А. Н. Телешева. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013. – 53 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/55469.html>

2 **Алексейцев, С. А.** Двухдиапазонные антенны дипольного вида с концевым питанием : учебное пособие / С. А. Алексейцев, А. П. Горбачев. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – 64 с. – ISBN 978-5-7782-4155-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/98698.html>

3 **Андрусевич, Л. К.** Антенно-фидерные устройства : учебное пособие / Л. К. Андрусевич, А. А. Ищук. – Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2006. – 182 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/54781.html>

4 **Андрусевич, Л. К.** Антенны и распространение радиоволн : учебное пособие для СПО / Л. К. Андрусевич, А. А. Ищук, К. А. Лайко. – Саратов : Профобразование, 2021. – 422 с. – ISBN 978-5-4488-1168-5. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/106609.html>

5 **Буянов, Ю. И.** Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства : учебное пособие / Ю. И. Буянов, Г. Г. Гошин. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. – 300 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/72175.html>

6 **Жуков, В. М.** Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства систем радиосвязи : учебное пособие / В. М. Жуков, А. Н. Сысоев. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. – 81 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/64563.html>

7 **Пушкарёв, В. П.** Радиоприемные устройства : учебник / В. П. Пушкарёв. – Москва : Ай Пи Ар Медиа, 2021. – 226 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/105788.html>

8 **Синицын, Ю. И.** Антенно-фидерные устройства в компьютерных сетях и системах связи : методические указания к практическим работам / Ю.

И. Сеницын, Е. И. Ряполова. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2014. – 113 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/50031.html>

9 **Шебалкова, Л. В.** Электродинамика, антенны и СВЧ-устройства СБЛ : учебно-методическое пособие / Л. В. Шебалкова, В. Б. Ромодин. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. – 75 с. – ISBN 978-5-7782-4142-8. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/99247.html>.

10 **Шпилевой, А. А.** Теория антенно-фидерных устройств систем связи : учебное пособие / А. А. Шпилевой, В. Е. Пониматкин. – Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2011. – 114 с. – ISBN 978-5-9971-0191-6. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/23936.html>

REFERENCES

1 **Andrusevich, L. K.** Antenna-fidernye ustrojstva : Metodicheskie ukazaniya po kursovomu proektirovaniyu [Antenna-feeder devices: Guidelines for course design] [Text : elektronnyj] / L. K. Andrusevich, A. A. Ishchuk, A. N. Telesheva. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2013. – 53 p. URL : <https://www.iprbookshop.ru/55469.html>

2 **Aleksejcev, S. A.** Dvuhdiapazonnye anteny dipol'nogo vida s koncevym pitaniem [End-fed dual-band dipole antennas] [Text : elektronnyj] / L. K. Andrusevich, A. A. Ishchuk. – Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2006. – 182 p

3 **Andrusevich, L. K.** Antenna-fidernye ustrojstva : uchebnoe posobie [Antenna-feeder devices: Guidelines for course design] [Text : elektronnyj] / Andrusevich, L.K. Antenna-feeder devices: textbook Novosibirsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet telekommunikacij i informatiki, 2006. – 182 p

4 **Andrusevich, L. K.** Anteny i rasprostranenie radiovoln : uchebnoe posobie dlya SPO [Antennas and Radio Wave Propagation: ACT Training Manual] [Text : elektronnyj] / L. K. Andrusevich, A. A. Ishchuk, K. A. Lajko. – Saratov : Profobrazovanie, 2021. – 422 p.

5 **Buyanov, YU. I.** Rasprostranenie radiovoln i antenno-fidernye ustrojstva : uchebnoe posobie [Radio Wave Propagation and Antenna Feeder Devices: Training Manual] [Tekst: elektronnyj] / YU. I. Buyanov, G. G. Goshin. - Tomsk : Tomskij gosudarstvennyj universitet sistem upravleniya i radioelektroniki, 2013. - 300 p.

6 **Zhukov, V. M.** Rasprostranenie radiovoln i antenno-fidernye ustrojstva sistem radiosvyazi: uchebnoe posobie [Radio Wave Propagation and Antenna-Feeder Devices of Radio Communication Systems: A Training Manual] [Text : elektronnyj] / V. M. Zhukov, A. N. Sysoev.–Tambov : Tambovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, EBS ASV, 2013. - 81 p.

7 **Pushkaryov, V. P.** Radiopriemnye ustrojstva : uchebnik [Radio receivers: textbook] [Text : elektronnyj] / V. P. Pushkaryov. – Moscow : Aj Pi Ar Media, 2021. – 226 c.

8 **Sinicyn, YU. I.** Antenno-fidernye ustrojstva v komp'yuternyh setyah i sistemah svyazi : metodicheskie ukazaniya k prakticheskim rabotam [Antenna-feeder devices in computer networks and communication systems: guidelines for practical work]

[Tekst: elektronnyj] / YU. I. Sinicyn, E. I. Ryapolova. - Orenburg : Orenburgskij gosudarstvennyj universitet, EBS ASV, 2014. - 113 p

9 **Shebalkova, L. V.** Elektrodinamika, anteny i SVCH-ustrojstva SBL : uchebno-metodicheskoe posobie [Electrodynamics, antennas and microwave devices SBL : teaching aid] [Tekst: elektronnyj] / L. V. Shebalkova, V. B. Romodin. – Novosibirsk : Novosibirskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2020. – 75 p.

10 **Shpilevoj, A. A.** Teoriya antenno-fidernyh ustrojstv sistem svyazi: uchebnoe posobie [Theory of antenna-feeder devices of communication systems: training manual] [Text : elektronnyj] / A. A. Shpilevoj, V. E. Ponimatkin. – Kaliningrad : Baltijskij federal'nyj universitet im. Immanuila Kanta, 2011. – 114 p.

Материал поступил в редакцию 13.06.22.

*А. С. Звонцов¹, А. П. Кислов², Н. А. Дубинец³, Л. Г. Мухамедеева⁴
^{1,2,3,4}Торайғыров университеті, Қазақстан Республикасы, Павлодар қ.
Материал баспаға 13.06.22 түсті.

РОМБАЛЫҚ АНТЕННА БАҒЫТЫН ЕСЕПТЕУ ЖӘНЕ СИМУЛАУ МЫСАЛЫНДА ЭЛЕКТРОМАГНИТТІ ТОЛҚЫНДЫ ТАЛДАУ

Мақалада электромагниттік толқындардың ромбтық антеннада таралуы қарастырылады - жер бетінен жоғары ілінген сымдардың ашық жүйесі, олар арқылы айнымалы токтар өтеді.

Колденең және тік жазықтықтардағы жылжымалы толқын массивінің көбейткішін ескере отырып, антеннаның бағыттылығына қатысты теориялық және практикалық мәселелер талданған.

Антеннаның максималды қолданылатын жиілік пен оңтайлы жұмыс жиілігінің бағыты үшін алынған белгілі бір көрсеткіштер радиацияның дәл бағыты маңызды болып табылатын арнайы мәселелерді шешуге арналған жұмыстарды жүргізуге мүмкіндік береді.

Антеннаның сәулелену үлгісін арттыру үшін электр және магнит өрісі векторлары қанағаттандыруға тиіс шекаралық шарттарды ескере отырып, толқын өткізгіштің ішіндегі электромагниттік өрісті анықтайтын есептеулер көрсетілген.

Тік жазықтық үшін электрлік типті және электромагниттік толқынның таралуының қолденең жазықтығы үшін магниттік типті толқындар қарастырылды.

Нақты тұрақтысы бар сөндірілмеген толқын үшін сызықтық және сызықтық емес тәуелділіктер берілген.

Антеннаның берілген құрылымдық өлшемдері мен түрі оның бағытталған таралуына сәйкес келетін электромагниттік толқын сәулеленуінің минималды мәндеріне қолданылатынын көрсететін есептеулер келтірілген.

Кілтті сөздер: бағдарлау диаграммасы, электр өрісі, магнит өрісі, электромагниттік толқын, ромбтық антенна.

**S. Zvontsov¹, A. P. Kislov², N. A. Dubinets³, L. Mukhamedeyeva⁴*

Toraighyrov University, Republic of Kazakhstan, Pavlodar.

Material received on 13.06.22.

ELECTROMAGNETIC WAVE ANALYSIS BASED ON THE EXAMPLE OF CALCULATION AND MODELLING OF THE RHOMBIC ANTENNA DIRECTION

The article considers issues of electromagnetic wave propagation in the rhombic antenna – an open-ended system of wires suspended high above the ground, on which flow variable currents.

The theoretical and practical questions connected with the orientation of the antenna taking into account the multiplier of the grid of the running wave in the horizontal and vertical planes have been considered.

The determined indicators of the antenna directional values for the maximum applicable frequency and optimal operating frequency will allow to carry out work for the solution of special tasks where the precise direction of radiation is essential.

The calculations determining the electromagnetic field within the waveguide are shown, taking into account the boundary conditions which

the vectors of the electric and magnetic field must satisfy in order to increase the orientation diagram of the antenna.

Electric waves for vertical plane and magnetic type for horizontal plane of electromagnetic wave propagation were considered. The linear and nonlinear dependencies for a real constant are given.

Calculations are made which show that the given structural dimensions and type of antenna are applicable to the minimum values of radiation of an electromagnetic wave, which corresponds to its directed propagation.

Keywords: radiation pattern, electric field, magnetic field, electromagnetic wave, rhombic antenna.

Теруге 13.06.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

16,6 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.88. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3958

Сдано в набор 13.06.2022 г. Подписано в печать 30.06.2022 г.

Электронное издание

16,6 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.71. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3958

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz