

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

---

№ 3 (2023)

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/YBCY7199>

**Бас редакторы – главный редактор**

Кислов А. П.  
*к.т.н., доцент*

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD*

Ответственный секретарь

Калтаев А.Г., *доктор PhD*

**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., *д.т.н., профессор*  
Алиферов А.И., *д.т.н., профессор (Россия)*  
Кошеков К.Т., *д.т.н., профессор*  
Приходько Е.В., *к.т.н., профессор*  
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*  
Нефтисов А. В., *доктор PhD*  
Омарова А.Р., *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 университет

<https://doi.org/10.48081/VXCP3444>

**\*Р. Т. Қасым<sup>1</sup>, З. М. Өмірбекова<sup>2</sup>,  
Т. Г. Сериков<sup>3</sup>, А. С. Толегенова<sup>4</sup>, А. А. Тленшиева<sup>5</sup>**

<sup>1,2</sup>Логистика және көлік академиясы,

Қазақстан Республикасы, Алматы қ.,

<sup>3,4,5</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу  
университеті, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

e-mail: [kasym.ruslan@gmail.com](mailto:kasym.ruslan@gmail.com)

## **ИНТЕРФЕЙСТЕР АРАСЫНДАҒЫ АҚПАРАТТЫ УЛЬТРА КЕҢ ЖОЛАҚТЫ КӨП АНТЕННАЛЫҚ СЫМСЫЗ ТАСЫМАЛДАУДЫ ОҢТАЙЛАНДЫРУ МОДЕЛІ**

*Бұл жұмыста антеннаның биіктігіне байланысты үстелдің металл корпусының ішіндегі терагерц (ТГц) сымсыз арнасының жолындағы шығындар моделі келтірілген. Металл қораптың ішіндегі көру сызығы (LoS) аймағында таралу өлшемдері жолдағы шығындар төменгі қабырғадан трансивердің биіктігіне байланысты өзгеретінін және кейбір биіктіктер үшін жолдағы шығындар бос кеңістіктің мәнінен төмен екенін көрсетеді. Резонатор режимдеріне негізделген талдау те-дің алғашқы сегіз режимі қораптың ішіндегі резонанстық режимдерге үстемдік ететіндігін көрсетеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындарды талдау резонанстық режимдер қораптың ішіндегі шағылысулармен бірге жолдағы жоғалту қисығындағы қатты толқындарға жауап беретіндігін көрсетеді. Трансивер биіктігінің өзгеруімен шығынның таралу сценарийлеріне назар аудардық, трактаттағы шығынды талдау көрсеткендей, толқын да, резонанстық режим де қабылданған қуатқа ықпал етеді. Мұнда, әрі қарай, біз металл корпустағы жолдағы орташа шығындар моделін толқын мен резонанстық режимдердің суперпозициясы ретінде ұсынамыз. Сонымен қатар, дәлдік үшін біз те-дің алғашқы сегіз резонанстық режимімен қабылданған қуаттың өзгеруін модельдейміз. Мақаланың қалған бөлігі келесідей ұйымдастырылған. II бөлімде жолдағы шығындар моделін құру үшін қолданылатын өлшеу сценарийі сипатталған. III бөлімде өлшеу нәтижелері, жолдағы*

*шығындар моделі келтірілген және алынған нәтижелер талқыланады.  
IV бөлім-қорытынды.*

*Кілтті сөздер: интерфейстер арасындағы ақпарат,  
микротолқынды жиілік, металл қорап, кең жолақты, көп антенналы.*

## **Кіріспе**

Сымсыз байланыс чиптерді құрастыру құнын және жүйені жобалау мен техникалық қызмет көрсетудің күрделілігін төмендету үшін жұмыс үстеліндегі чиптер арасындағы байланыстың болашақ шешімі ретінде ұсынылды. Сымсыз байланыстың шектеулерінің бірі-деректерді беру жылдамдығы. Сымды жүйе үшін секундына жүздеген гигабитпен салыстырғанда, сымсыз байланыс секундына он гигабитке жете алмайды. Бұл мәселені шешу үшін терагерц (ТГц) сымсыз байланысы ұсынылды, оның артықшылығы үлкен өткізу қабілеттілігін қамтамасыз ету және кішірек Антенналарды пайдалану қажеттілігі болып табылады. Жұмыс үстеліндегі терагерц диапазонындағы чиптен чипке сымсыз байланысты қамтамасыз ету үшін арнаның сипаттамасы қажет. 3,1-10 ГГц микротолқынды жиілік диапазонында тақтааралық байланыс үшін өлшемдер екі жұмыс үстелінің ішінде, біреуі толып жатқан ішкі кеңістікте, екіншісі салыстырмалы түрде бос ішкі кеңістікте жүргізілді. Сонымен қатар, «чип-чип» байланысы ұқсас жиілік диапазонындағы компьютерлердің жабық және ашық корпустарына тән болды. ТГц жиіліктерінде үй ішіндегі байланыс таратқыш (Tx) мен қабылдағыш (Rx) арасындағы қашықтықты өзгерту арқылы көру сызығын (LoS) тарату үшін, сондай-ақ әртүрлі беру және қабылдау бұрыштары, көлеңкелеу әсері, шағылысу және дифракция арқылы көру сызығынан тыс (NLoS) тарату үшін жүзеге асырылды. әртүрлі материалдан. Сонымен қатар, los, RNLoS, көру сызығының кедергісі (OLOs) және NLoS сияқты әртүрлі ықтимал сценарийлерді ескере отырып, 300 ГГц жиіліктегі сымсыз өлшеулер жүргізілді.

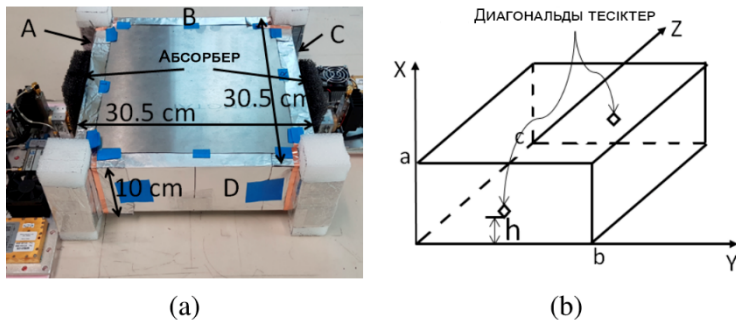
Керісінше, бұл мақалада антеннаның биіктігіне байланысты жұмыс үстелінің өлшеміндегі металл қораптың ішіндегі 300 ГГц сымсыз арнадағы деректерді беру жолындағы жоғалту моделі келтірілген. Мұнда біз трансивер биіктігінің өзгеруімен шығынның таралу сценарийлеріне назар аудардық, h трактаттағы шығынды талдау көрсеткендей, толқын да, резонанстық режим де қабылданған қуатқа ықпал етеді. Жолдағы шығындар мен антеннаның биіктігі арасындағы байланысты талдай отырып, нәтижелер алғашқы сегіз те режимі қорап ішіндегі резонанста басым екенін көрсетеді. Сонымен қатар, жолдағы шығындарды талдау резонанстық режимдер қораптың ішіндегі шағылысулармен бірге жолдағы жоғалту қисығындағы қатты толқындарға жауап беретіндігін көрсетеді. LoS таралу сипаттамаларының бастапқы зерттеуі трансиверлердің биіктігіне байланысты қабылданған қуаттың

өзгеруін көрсетеді. Бұл ТЕ-дің алғашқы алты резонанстық режимінің қосқан үлесімен түсіндірілді. Мұнда, әрі қарай, біз металл қорпустағы жолдағы орташа шығындар моделін толқын мен резонанстық режимдердің суперпозициясы ретінде ұсынамыз. Сонымен қатар, дәлдік үшін біз те-дің алғашқы сегіз резонанстық режимімен қабылданған қуаттың өзгеруін модельдейміз. Мақаланың қалған бөлігі келесідей ұйымдастырылған. II бөлімде жолдағы шығындар моделін құру үшін қолданылатын өлшеу сценарийі сипатталған. III бөлімде өлшеу нәтижелері, жолдағы шығындар моделі келтірілген және алынған нәтижелер талқыланады. IV бөлім-қорытынды.

### **Материалдар және әдістер**

Өлшеу сценарий – сипатталғанға ұқсас, ол шамамен Жұмыс үстелінің корпусына сәйкес келетін 30,5 см × 30,5 см × 9,6 см алюминий қорапты пайдаланады.

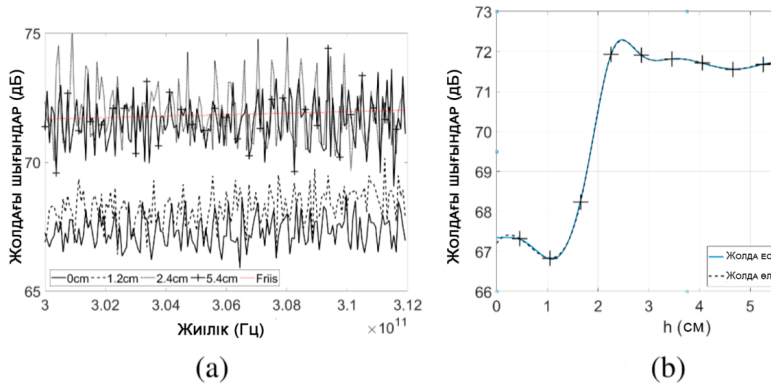
I суретте көрсетілгендей, ұзындығы 30,5 см болатын екі шаршы алюминий тақтайшалар төрт бұрышқа көбікпен бекітіліп, металл қораптың төбесі мен еденін құрады. Металл қораптың қалған төрт жағы алюминий фольгамен қапталған. Бұл бүйір қабырғалар IA-суретте көрсетілгендей А, В, С және D деп белгіленген. қорап көлденең антенналары бар таратқыштың (Tx) және қабылдағыштың (Rx) ортасында қысылған. Антеннаның биіктігі ретінде,  $h$ , трансвердің бүйірлерінде (а жағы мен С жағы) IB суретте көрсетілгендей антенна үшін екі диагональды тесік бұрғыланды. антенналардың ортасынан металл қораптың бүйіріне дейінгі қашықтық оның енінің жартысына тең. Металл қораптың ішіндегі резонанстық режимдерді сипаттау үшін өлшемдер 0 см-ден 6,6 см-ге дейін, 0,6 см қадаммен өлшенді. мұндағы  $h$  параметрі мүйіздің төменгі жиегі мен металл қораптың негізі арасындағы қашықтықты білдіреді. Фазалық орталық пен мүйіз антеннасының төменгі жиегі арасындағы қашықтық 4,575 ММ. Антенналардың артқы жағындағы шағылыстарды жою үшін IA суретте көрсетілгендей раковиналар қолданылды.



Сурет 1 – Шығындар өлшеу қондырғысы прототипі және металл қуыс.  
 (а) Шығындар өлшеу қондырғысы және (б) диагональды тесіктері бар тікбұрышты металл қуыс.

### Нәтижелер мен талқылау

2а-суретте қорап өлшемдеріндегі трактаттағы өлшенген шығындар көрсетілген және оларды Фриис формуласымен салыстыру жүргізілген.  $H < 1,8$  см өлшеулер үшін траекториядағы шығындар Фриис формуласы бойынша болжанғаннан төмен, ал  $h > 1,8$  см үшін траекториядағы шығындар Фриис формуласы бойынша болжамға сәйкес келеді. Трактаттағы шығындардың бұл өзгеруін әртүрлі резонанстық режимдер қабылданған қуатқа ықпал ететінін байқау арқылы түсіндіруге болады. Мұнда біз беріліс қуаты тұрақты болғандықтан, трактаттағы шығындардың өзгеруі қабылдау қуатының өзгеруіне тең екенін атап өтеміз. Демек, металл қораптың ішіндегі los таралу жолындағы шығындарды толқын жолындағы шығындар мен резонанстық режимдерге байланысты қабылданған қуаттың өзгеруі ретінде қарастыруға болады. 2б-суретте биіктікке қатысты траекториядағы өлшенген және есептелген орташа шығындарды салыстырады,  $h$  белгілі бір биіктікте жүру жолындағы өлшенген шығындардың орташа мәні,  $h$ , барлық тіркелген жиіліктерде 2а-суретте көрсетілгендей үздіксіз толқынды орташалау арқылы есептеледі. Жолдағы өлшенген шығын қисығы 2б-суретте көрсетілген – бұл қисықта да белгіленген осы орташа нүктелердің интерполяциясы.



Сурет 2 – Өлшенген және есептелген (а) жиілік бойынша трактаттағы шығындардың өзгеруі (кызыл сызық – Фриис теңдеуі) және (б) антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптағы LoS үшін трактаттағы орташа шығындар, h.

Жолдағы теориялық шығындар (PLT), 2b суреттегі дБ келесідей есептеледі.

$$(PL^T)_{dB} = (\overline{PL})_{dB} + 10 \log_{10}(|E|^2)^{-1} \tag{1}$$

Мұнда  $\overline{PL}$  : қозғалатын толқын жолындағы орташа шығынды білдіреді және Фриис формуласын жиілік жолағы бойынша  $\overline{PL} = \frac{1}{\Delta f} \int \Delta f (\frac{4\pi d f}{c})^2 df$  ретінде орташалау арқылы есептеуге болады , мұндағы d – Tx пен Rx арасындағы қашықтықты, ал c жарық жылдамдығын білдіреді.

d = D = 30,5 см бұл қораптың ұзындығына сәйкес келеді  $10 \log_{10}((E^2)^{-1})$  резонанстық режимдерге байланысты қабылданған қуаттың өзгеруін білдіреді  $/E^2$  ретінде жазылуы мүмкін.

$$|E|^2 = |E_x|^2 + |E_y|^2 = |\sum_{m=1}^M E_{ym}|^2 + |\sum_{m=1}^M E_{xm}|^2 \tag{2}$$

Еум және Exm келесі есеп бойынша табылады.

$$E_{ym} = \frac{j\omega_{mnp}\mu k_x H_0}{k_{mnp}^2 - k_z^2} \sin \frac{m\pi x}{a} \cos \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{z} \quad (3)$$

$$E_{xm} = -\frac{j\omega_{mnp}\mu k_x H_0}{k_{mnp}^2 - k_z^2} \cos \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b} \sin \frac{p\pi z}{z} \quad (4)$$

мұндағы  $H_0$  – А/м бірліктері бар ерікті тұрақты, ал  $m, n$  және  $p$  – бүтін сандар.  $K_{mnp}$  меншікті мәндері  $k_{mnp}^2 = \left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{p\pi}{c}\right)^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$  шартын қанағаттандырады, мұндағы  $k_x = \pi/a, k_y = \pi/b, k_z = \pi/c$  ал  $a, b$  және  $c$  1b-суретте көрсетілгендей қуыстың биіктігі, ұзындығы және ені болып табылады.  $H$  бағытын өзгерту үшін  $x$  келесідей жеңілдетілуі мүмкін.

$$E_{ym} = A_m \sin(m\pi x/a), E_{xm} = B_m \cos(m\pi x/a) \quad (5)$$

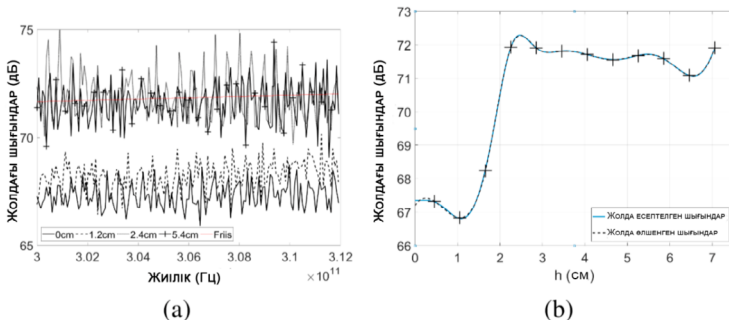
Қисық фитингті қолдана отырып, біз ТЕ режимінің алғашқы 8 режимі қораптағы резонанстық резонаторда басым болатынын және осы режимдердің коэффициенттері эмпирикалық түрде

$$A = 0.441, B1 = -0.173, A2 = -0.583, B2 = 0.060, A3 = 0.757,$$

$$B3 = -0.56, A4 = -0.254, B4 = 0.352, A5 = 0.74, B5 = -0.113,$$

$$A6 = 0.128, B6 = 0.394, A7 = 0.968, B7 = 0.892, A8 = 0.269,$$

$$B8 = 0.323 \text{ екенін анықтадық.}$$



Сурет 3 – Өлшенген және есептелген (а) жиілік бойынша тракттағы шығындардың өзгеруі (қызыл сызық - Фриис теңдеуі) және (б) антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптағы LoS үшін тракттағы орташа шығындар,  $h$ .

### Қаржыландыру туралы ақпарат



Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды, АР14869840 —«Интерфейстер арасындағы ақпаратты ультра кең жолақты көп антенналық сымсыз тасымалдауды зерттеу және құру» жобасы аясында шығарылды.

### **Қорытынды**

Бұл жұмыста антеннаның биіктігіне байланысты металл қораптың ішіндегі 1 ТГц сымсыз арна жолындағы шығындар моделі келтірілген. Қораптың ішінде толқындар да, резонанстық режимдер де бар екені анықталды. Металл қораптың ішіндегі los таралуын талдау антеннаның биіктігіне байланысты қабылданатын қуаттың өзгеруі металл қораптың ішіндегі алғашқы сегіз те режимі басым болатын резонанстық режимдерге байланысты екенін көрсетеді.

## **ПАЙДАЛАНҒАН ДЕРЕКТЕР ТІЗІМІ**

1 **DiTomaso D., Kodi A., Matolak D., S. Kaya, S. Laha, and W. Rayess**, «A-WiNoC: Adaptive Wireless Network-on-Chip Architecture for Chip Multiprocessors» // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 26, no. 12, P. 3289–3302, 2015.

2 **Shamim M. S., Mansoor N., Narde R. S., Kothandapani V., Ganguly A. and J. Venkataraman**, «A Wireless Interconnection Framework for Seamless Inter and Intra-Chip Communication in Multichip Systems», in IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 3, pp. 389-402, 1 March 2017, doi: 10.1109/TC.2016.2605093.

3 **Narde R. S., Mansoor N., A. Ganguly, and J. Venkataraman**, «On-Chip Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnections: Challenges and Opportunities» // in Proceedings of the EuCAP '18, 2018.

4 **Laha S. , KayaS., Matolak D. W., Rayess W., Tomaso Di D., and A. Kodi**, «A New Frontier in Ultra-low Power Wireless Links: Network-on-Chip and Chip-to-Chip. 11. Interconnects.» IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, vol. 34, no. 2, P. 186-198, February 2015.

5 **Benini L. and Micheli G. De**, «Networks on chips: a new SoC paradigm,» IEEE Transactions on Computers, vol. 35, no. 1, P. 70-78, 2002.

6 **KimJ., Choi K., and Loh G.**, «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication,» IEEE J. Emerg. Sel. Topics Circuits Syst., vol. 2, no. 2, P. 124–136, Jun. 2012

7 **Chen Y. and Han C.**, «Channel modeling and characterization for wireless networks-on-chip communications in the millimeter wave and terahertz bands», IEEE Trans. Mol. Biol. Multi-Scale Commun., vol. 5, no. 1, P. 30-43, Oct. 2019.

8 **Gade S. H. and Deb S.**, «HyWin: Hybrid wireless NoC with sandboxed sub-networks for CPU/GPU architectures,» // IEEE Transactions on Computers, vol. 66, no. 7, P. 1145–1158, 2017

9 **Chen Y. and Han C.**, «Channel Modeling and Analysis for Wireless Networks-on-Chip Communications in the Millimeter Wave and Terahertz Bands» // in Proceedings of the INFOCOM WKSHPS '18, 2018.

10 **Kim J., Choi K., and Loh G.**, «Exploiting new interconnect technologies in on-chip communication» // IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2012.

Басып шығаруға 18.09.23 қабылданды.

\**Р. Т. Касым<sup>1</sup>, З. М. Әмірбекова<sup>2</sup>,*

*Т. Г. Сериков<sup>3</sup>, А. С. Толегенова<sup>4</sup>, А. А. Тленишева<sup>5</sup>*

<sup>1,2</sup> Академия логистики и транспорта, Республика Казахстан, г. Алматы,

<sup>3,4,5</sup> Казахский агротехнический университет исследовательский имени С. Сейфуллина, Республика Казахстан, г. Астана

Принято к изданию 18.09.23.

## **МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ СВЕРХШИРОКОПОЛОСНОЙ МНОГОАНТЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ МЕЖДУ ИНТЕРФЕЙСАМИ**

*В данной статье представлена модель потерь на трассе беспроводного канала в диапазоне терагерц (ТГц) внутри настольного металлического корпуса в зависимости от высоты антенны. Измерения распространения в зоне прямой видимости (LoS) внутри металлического ящика показывают, что потери на трассе зависят от высоты приемопередатчика от нижней стены, и для некоторых высот потери на трассе ниже, чем значение в свободном пространстве. Анализ, основанный на модах резонатора, показывает, что первые восемь мод те доминируют над резонансными модами внутри ящика. Кроме того, анализ потерь на трассе показывает, что резонансные моды ответственны за сильные волны на кривой потерь на трассе наряду с отражениями внутри ящика. Даже мы представляем модель усредненных по трассе потерь в металлическом корпусе как суперпозицию волновых и резонансных мод. Мы сосредоточились на сценариях распределения потерь с изменением высоты приемопередатчика, анализ потерь в тракте показывает, что как волна, так и резонансный режим влияют на воспринимаемую мощность. Кроме того, для точности моделируем изменение*

*принимаемой мощности с первыми восемью резонансными модами тэ. Остальная часть статьи организована следующим образом. Раздел II описывает сценарий измерения, используемый для построения модели стоимости дорог. В разделе III представлены результаты измерений, модель стоимости дорог и обсуждаются полученные результаты. Часть IV - заключение.*

*Ключевые слова: информация между интерфейсами, микроволновая частота, металлический ящик, широкополосный доступ, мультиантенна.*

\*R. T. Kassym<sup>1</sup>, Z. M. Omirbekoba<sup>2</sup>,

T. G. Serikov<sup>3</sup>, A. S. Tolegenova<sup>4</sup>, A. A. Tlenshieva<sup>5</sup>,

<sup>1,2</sup> Academy of logistics and transport, Republic of Kazakhstan, Almaty,

<sup>3,4,5</sup> S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university,

Republic of Kazakhstan, Astana,

Accepted for publication on 18.09.23

## **OPTIMIZATION MODEL OF ULTRA-WIDEBAND MULTI-ANTENNA WIRELESS DATA TRANSFER BETWEEN INTERFACES**

*This paper presents the path loss model of Terahertz (THz) wireless channel inside a desktop size metal enclosure as a function of antenna height. Measurements for line-of-sight (LoS) propagation inside the metal box show that path loss varies with respect to the transceiver's height from the bottom wall, and for some heights, the path loss is lower than the free space value. Analysis based on the cavity modes shows that the first eight TE modes dominate the resonating modes inside the box. Also, the path loss analysis indicates that the resonating modes combined with the reflections inside the box are responsible for the strong ripples in the path loss curve. Here, further, we present a model of path-averaged losses in a metal case as a superposition of wave and resonant modes. We focused on loss distribution scenarios with a change in the height of the transceiver; the analysis of losses in the path shows that both the wave and the resonant mode affect the perceived power. In addition, for accuracy, we simulate the variation of the received power with the first eight resonant modes of te. The rest of the article is organized as follows. Section II describes the measurement scenario used to build the road cost model. Section III presents the measurement results, the road cost model, and discusses the obtained results. Part IV - conclusion.*

*Keywords: information between interfaces, microwave frequency, metal box, broadband, multi-antenna.*

Теруге 18.09.2023 ж. жіберілді. Басуға 29.09.2023 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

29.9 Мб RAM

Шартты баспа табағы 22,2. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Тапсырыс №4140

Сдано в набор 18.09.2023 г. Подписано в печать 29.09.2023 г.

Электронное издание

29.9 Мб RAM

Усл. печ. л. 22,2. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова, Д. А. Кожас

Заказ № 4140

«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](mailto:kereku@tou.edu.kz)

[www.vestnik-energy.tou.edu.kz](http://www.vestnik-energy.tou.edu.kz)