

«8D06201 – Радиотехника, электроника және телекоммуникациялар»  
мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін  
диссертациялық жұмысқа

## **АНДАТПА**

**ТІЛЕУ АЯН ОРАЗБАЙҰЛЫ**

### **ЛАЗЕРЛІК ГАЗ СЕНСОРЫ СИГНАЛЫНЫҢ КОНЦЕНТРАЦИЯЛЫҚ ҚАНЫҒУЫ**

**Жұмыстың жалпы сипаттамасы.** Диссертациялық жұмыс лазерлік абсорбциялық әдіске негізделген газ сенсорлық жүйелердің жұмыс ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Жұмыста метан, этанол және аммиак газдарының концентрациясы өзгерген жағдайда лазерлік газ сенсоры сигналының қалыптасу механизмдері, оның флуктуациялық қасиеттері және концентрациялық қанығу құбылысы эксперименттік және теориялық тұрғыдан қарастырылған. Зерттеу барысында жабық газ ұяшығында лазер сәулесінің газ молекулаларымен өзара әсерлесуі нәтижесінде пайда болатын оптикалық процестер және газ арқылы өткен сәуленің фотодетекторда тіркелетін электрлік сигналы талданды. Сенсор сигналының концентрацияға тәуелді сызықтық және бейсызық режимдері, сондай-ақ қанығу аймағына өту шарттары анықталды. Газ концентрациясының артуымен лазер сәулесінің жұтылу қарқындылығы мен газ молекулаларының жылулық қозғалысы арасындағы өзара байланыс флуктуациялық-диссипациялық қатынас және корреляциялық функциялар арқылы сипатталды. Сонымен қатар сенсор сигналының информациялық қасиеттерін бағалау үшін Шеннон энтропиясына негізделген әдістер қолданылды. Зерттеу нәтижелері лазерлік газ сенсорларының жұмыс диапазонын оңтайландыруға, сенсордың сызықтық жұмыс аймағын дұрыс таңдауға және газ концентрациясын әрі газ түрін сенімді анықтауға бағытталған практикалық маңызға ие.

**Зерттеудің өзектілігі.** Қазіргі кезеңде өндірістік технологиялардың қарқынды дамуы, экологиялық қауіпсіздікке қойылатын талаптардың күшеюі және адам денсаулығын қорғау мәселелерінің өзектілігі қоршаған ортадағы газ құрамын үздіксіз және жоғары дәлдікпен бақылауға мүмкіндік беретін сенсорлық жүйелерге деген сұранысты айтарлықтай арттырды. Әсіресе жанғыш, улы және қауіпті газдардың аз концентрацияларын жедел анықтау өнеркәсіптік қауіпсіздік, экологиялық мониторинг, энергетика және тұрғын үй секторлары үшін аса маңызды болып табылады.

Қазіргі уақытта газ ортасының құрамын анықтау үшін әртүрлі принциптерге негізделген сенсорлар қолданылады. Олардың ішінде лазерлік газ сенсорлары жоғары сезімталдығымен, контактісіз өлшеу мүмкіндігімен және нақты газ түріне селективтілігімен ерекшеленеді. Лазерлік әдістер газ молекулаларының сәулені жұту ерекшеліктеріне негізделгендіктен, өлшеу

нәтижелерінің дәлдігі мен сенімділігін қамтамасыз етеді. Алайда газ концентрациясы артқан жағдайда лазерлік сенсор сигналының сызықтық режимнен бейсызық режимге өтіп, қанығу құбылысының пайда болуы өлшеу дәлдігіне елеулі шектеу қояды.

Сенсор сигналының концентрациялық қанығуы газ молекулалары мен лазер сәулесінің өзара әсерлесуіндегі күрделі флуктуациялық және бейсызық процестермен байланысты. Бұл құбылыстың физикалық механизмдерін түсіну, қанығу шегін анықтау және әртүрлі газдар үшін сенсордың жұмыс аймағын дұрыс таңдау лазерлік газ сенсорларын практикалық қолдануда маңызды ғылыми-техникалық мәселе болып табылады. Әсіресе метан, этанол және аммиак сияқты өндірісте және тұрмыста кең таралған газдар үшін сенсор сигналының қанығу ерекшеліктерін зерттеу өзекті болып табылады.

Газ концентрациясының өсуімен лазер сәулесінің жұтылу қарқындылығы, фотодетекторда тіркелетін сигналдың флуктуациялары және олардың корреляциялық қасиеттері өзгереді. Бұл өзгерістерді флуктуациялық-диссипациялық қатынас, корреляциялық функциялар және информация-энтропиялық әдістер арқылы талдау сенсор сигналының қалыптасу заңдылықтарын тереңірек түсінуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар масштабтық инварианттыққа негізделген универсал функционалдық тәуелділіктерді қолдану сенсор сигналының қанығу концентрацияларын бағалаудың жаңа тәсілдерін ұсынады.

Осылайша, лазерлік газ сенсорлары сигналдарының концентрациялық қанығу механизмдерін зерттеу, олардың флуктуациялық және информациялық сипаттамаларын анықтау, сондай-ақ әртүрлі газдар үшін қанығу шектерін белгілеу газ концентрациясын дәл анықтауға бағытталған заманауи сенсорлық жүйелерді дамыту тұрғысынан маңызды әрі өзекті ғылыми мәселе болып табылады.

**Зерттеудің мақсаты.** Лазерлік абсорбциялық әдіске негізделген газ сенсорлары сигналдарының концентрацияға тәуелді қанығу механизмдерін эксперименттік және теориялық тұрғыдан зерттеу, метан, этанол және аммиак газдары үшін сенсор сигналының қанығу шектерін анықтау, сондай-ақ флуктуациялық-диссипациялық және информация-энтропиялық әдістерді қолдану арқылы сенсордың сызықтық және бейсызық жұмыс режимдерін сипаттау болып табылады.

**Зерттеудің міндеттері.** Жұмыстың мақсатына жету үшін келесі міндеттер орындалу қажет:

1. Лазерлік абсорбциялық әдіске негізделген газ сенсорлық эксперименттік жүйені құрастыру және жабық газ ұяшығында метан, этанол және аммиак газдарымен өлшеулер жүргізу;

2. Газ концентрациясының өзгеруіне байланысты фотодетекторда тіркелетін лазерлік сенсор сигналының уақыттық қатарларын алу және оларды цифрлық түрде тіркеу;

3. Флуктуациялық-диссипациялық қатынас және информация-энтропиялық әдістерді қолдану арқылы сенсор сигналының сызықтық және бейсызық жұмыс режимдерін талдау;

**Зерттеу әдістері:** Лазерлік абсорбциялық өлшеулер, фотодетектор сигналдарын цифрлық тіркеу және өңдеу, флуктуациялық-диссипациялық, корреляциялық және информация-энтропиялық талдау, сондай-ақ эксперименттік және аналитикалық әдістер қолданылды.

**Зерттеу нысандары.** Наноөлшемді КК, CuO/КК, Лазер көзі, газ ұяшығы, фотодетектор және цифрлық тіркеу жүйесі.

**Зерттеу пәні.** Лазерлік газ сенсоры сигналының газ концентрациясына тәуелді өзгерісі, оның флуктуациялық, корреляциялық және информациялық сипаттамалары.

**Ғылыми жаңалығы мен ерекшелігі.** Алғаш рет:

1. Лазерлік газ сенсоры сигналының концентрациялық қанығуының физикалық механизмі фотондардың газ молекулаларымен өзара әсерлесуі нәтижесінде пайда болатын флуктуациялық процестер тұрғысынан кешенді түрде зерттелді.

2. Метан, этанол және аммиак газдары үшін лазерлік сенсор сигналының қанығу концентрациялары эксперименттік түрде анықталып, олардың флуктуациялық-диссипациялық және информациялық сипаттамаларымен байланысы көрсетілді.

3. Сенсор сигналының қанығу режимінде корреляциялық функциялар мен Шеннон энтропиясының мінез-құлқы алғаш рет салыстырмалы түрде талданып, сызықтық және бейсызық жұмыс аймақтарын ажыратудың ақпараттық критерийлері ұсынылды.

**Қорғауға ұсынылған ғылыми тұжырымдар:**

1. CuO/PS негізіндегі наноқұрылымдық сенсор тұрақты кернеу жағдайында газға сезімталдық сипаттамалары бойынша 1–3 минут ішінде ток шамасының 20% артуын көрсетеді.

2. Лазерлік сенсор сигналының әртүрлі газдар үшін концентрациялық қанығуы флуктуациялық-диссипациялық теоремамен анықталады. Қанығу концентрациясы әртүрлі газдар үшін келесі мәндерді береді:  $C_*(NH_3) = 10^2$  ppm,  $C_*(C_2H_5OH) = 10^3$  ppm,  $C_*(CH_4) = 10^4$  ppm.

3. Өзұқсас информация  $I_*=0.567$  және өзұқсас энтропия  $H_*=0.806$  лазерлік газ сенсоры сигналының когеренттілік көрсеткішін келесі формуламен  $\eta = (H_* - I_*) / (H_* + I_*) \approx 0,174$  анықтайды.

**Зерттеудің теориялық маңыздылығы.** Диссертациялық жұмыста алынған нәтижелер лазерлік абсорбциялық әдіске негізделген газ сенсорлары сигналдарының концентрацияға тәуелді қанығу құбылысының физикалық табиғатын түсіндіруге бағытталған. Газ молекулалары мен лазер сәулесінің өзара әсерлесу процесін флуктуациялық-диссипациялық және информация-энтропиялық тұрғыдан талдау сенсор сигналының сызықтық және бейсызық жұмыс режимдерін теориялық тұрғыдан сипаттауға мүмкіндік береді. Алынған теориялық қорытындылар лазерлік газ сенсорлары сигналдарының

флуктуациялық және корреляциялық қасиеттерін зерттеуге арналған модельдерді дамыту үшін негіз бола алады.

**Жұмыстың практикалық маңыздылығы.** Лазерлік газ сенсорларының жұмыс диапазонын оңтайландыруға және сигналдың концентрациялық қанығу режимін ескеретін өлшеу алгоритмдерін жетілдіруге мүмкіндік беруімен анықталады. Эксперименттік түрде анықталған қанығу концентрациялары метан, этанол және аммиак газдарын жоғары дәлдікпен анықтауға арналған сенсорлық жүйелерді жобалауда қолданылуы мүмкін. Алынған нәтижелер экологиялық мониторинг, өнеркәсіптік қауіпсіздік, энергетика және газды бақылау жүйелерінде қолданылатын лазерлік газ сенсорларының дәлдігін арттыруға және сенімділігін қамтамасыз етуге бағытталған.

**Алынған нәтижелердің сенімділігі мен негізділігі.** Диссертациялық жұмыс нәтижелерінің сенімділігі мен негізділігі ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК-і ұсынған басылымдарда, Web of Science (Clarivate Analytics, АҚШ) және Scopus (Elsevier, Нидерланды) халықаралық ақпараттық ресурстарына кіретін журналдарда және халықаралық ғылыми конференцияларда жарияланымдардың болуымен және басқа авторлар алған нәтижелерге сәйкес болуымен расталады.

**Автордың жеке үлесі.** Автор диссертациялық жұмыстың барлық кезеңдеріндегі зерттеу жұмыстарын толық көлемде орындады. Лазерлік абсорбциялық әдіске негізделген газ сенсорлық эксперименттік жүйені құрастыру, жабық газ ұяшығында метан, этанол және аммиак газдарымен өлшеулер жүргізу, фотодетекторда тіркелетін сенсор сигналының уақыттық қатарларын алу және оларды цифрлық түрде тіркеу жұмыстарын автор дербес жүзеге асырды.

Сенсор сигналының флуктуациялық, корреляциялық және информация-энтропиялық сипаттамаларын талдау, концентрацияға тәуелді сызықтық және бейсызық режимдерін анықтау, сондай-ақ сигналдың қанығу шектерін бағалау автордың тікелей қатысуымен орындалды. Зерттеу нәтижелерін өңдеу, интерпретациялау және қорытындылау жұмыстары автор тарапынан жүргізілді.

Жұмыстың мақсаты мен міндеттерін нақтылау, зерттеу жоспарын бекіту және алынған нәтижелерді талқылау ғылыми жетекшімен бірлесе отырып жүзеге асырылды.

**Жұмыстың апробациясы.** Диссертациялық жұмыстың нәтижелері төмендегі дерек көздерінде жарияланды:

**Thomson Reuters және Scopus халықаралық ғылыми деректер базасына кіретін басылымдарда жарияланған мақалалар:**

1. Khaniyev B., Ibraimov M., Nalibayev E., Skabylov A., Khaniyeva A., Jianxi L., Tezekbay Y., Duisebayev T., Tileu A., Meirambekuly N. Development of cupric oxide/porous silicon (CuO/PS) heterostructure enabled room temperature methane sensor for enhanced industrial safety // Engineered Science. – 2024, 31, 1268. **Scopus: CiteScore 12.5, Percentile 96%. Q1.** <http://dx.doi.org/10.30919/es1268>

**ҚР ҒЖБМ ҒЖБССҚК ұсынған басылымдарда жарияланған мақалалар:**

1. Zhanabaev Z., Akhtanov S., **Tileu A.**, Almen D. Coherent amplitude modulation in a laser gas sensor // Eurasian Physical Technical Journal. – 2023, 20(4-46), страницы 111–115. **Scopus: CiteScore 1.2, Percentile 26%. Q3.** <https://doi.org/10.31489/2023No4/111-115>

2. Zhanabaev Z., **Tileu A.**, Duisebayev T., Almen D. Saturation of gas concentration signal of the laser gas sensor // Eurasian Physical Technical Journal 2024. Vol 21 №. 3 (49). P. 71-80. **Scopus: CiteScore 1.2, Percentile 26%. Q3.** <https://doi.org/10.31489/2024No3/71-80>

**Халықаралық конференциялар тезистері жинақтарындағы жарияланымдар:**

1. **Тілеу А.О.** Лазерлік сенсормен газ түрін ажырату // An international scientific conference of students and young scientists «FARABI ALEMI». – 2023. – С.187.

2. **Тілеу А.О.**, Ахметова М.А. Лазерлік газ сенсорындағы төмен жиілікті флуктуациялық сигналдар үшін аллан дисперсиянын анықтау // An international scientific conference of students and young scientists «FARABI ALEMI». – 2024. – С. 207.

3. **Тілеу А.О.**, Сазбай Ә.М. Лазерлік газ сенсорының сигналының когеренттілігі // An international scientific conference of students and young scientists «FARABI ALEMI». – 2025. – С.223

**Авторлық куәлік:**

Жанабаев З.Ж., Ибраимов М.К., Ахтанов С.Н., Ханиев Б.А., **Тілеу А.О.**, Намазбаев Т.А., Мейрамбекұлы Н., Дуйсебаев Т.С. Лазерлік газ сенсоры сигналының модуляция когеренттігіне арналған құрылғы // Пайдалы модельге патент, 2025. № 9374.

**Диссертациялық жұмыстың құрылымы мен көлемі**

Диссертациялық жұмыс кіріспеден, үш тараудан, қорытындыдан және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 63 сурет, 56 формула, 1 кесте, 92 әдебиеттер тізімімен 100 бетті қамтиды.