

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



Автоматика және ақпараттық технологиялар институты
«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы

«Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін
зерттеу»

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

7M07107 – Робототехника және мехатроника

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

ӘОЖ 665.622.43.046.6-52 (043)

Қолжазба құқығында

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы

Магистр академиялық дәрежесін алу үшін
МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

Диссертацияның атауы Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу
Дайындау бағыты 7М07107 – Робототехника және мехатроника

Ғылыми жетекші
Техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор
Туякбаев А.А.
«11» 06 2025 ж.

Рецензент
Техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор
Жаменкеев Е.К.
«02» 06 2025 ж.

Норма бақылаушы
Тех. ғылым. маг., оқытушы,
Игембай Е. А.
«11» 06 2025 ж.

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
Кафедра меңгерушісі РТжАТҚ
Техника ғылымының кандидаты,
профессор
К.Ә. Өжікенов
«11» 06 2025 ж.

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы



SATBAYEV
UNIVERSITY

Автоматика және ақпараттық технологиялар институты

«Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары» кафедрасы

7M07107 – Робототехника және мехатроника

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі РТЖАТҚ
Техника ғылымының кандидаты,
профессор

Қ.Ә. Өжікенов

«14» 06 2025 ж.



**Магистрлік диссертацияны орындауға арналған
ТАПСЫРМА**

Магистрант Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы

Тақырыбы Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін
зерттеу

Университет ректорының 2022 ж. «25» 03 № 430 - М бұйрығымен бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «02» маусым 2025 ж.

Магистрлік диссертацияның бастапқы деректері:

Магистрлік диссертацияда қарастырылатын мәселелер тізімі:

- Көмірсутек газдарына (метан, пропан, сутек) сезімтал MQ-4 сенсорының жұмыс принципі және сипаттамаларын зерттеу;
- Сенсордан алынған сигналдарды жинақтау және алдын ала өңдеу әдістерін әзірлеу;
- Машиналық оқыту алгоритмдерін (мысалы, Gradient Boosting) пайдалана отырып, газ түрін автоматты түрде жіктеу жүйесін жасау;
- Алынған нәтижелер негізінде көмірсутек газдарын сенімді анықтайтын құрылғының техникалық негіздемесін ұсыну.

Графикалық материалдың тізімі (міндетті сызбаларды дәл көрсете отырып):

жұмыс презентациясы слайтарда көрсетілген

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: әдебиеттер тізімі және қосымша

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, әзірленетін сұрақтар тізбесі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Көмірсутек газдарына (метан, пропан, сутек) сезімтал MQ-4 сенсорының жұмыс принципін және сипаттамаларын зерттеу	16.01-12.02.2025 ж	Орындалды
Сенсордан алынған сигналдарды жинақтау және алдын ала өңдеу әдістерін әзірлеу	12.02-20.04.2025 ж.	Орындалды
Машиналық оқыту алгоритмдерін (мысалы, Gradient Boosting) пайдалана отырып, газ түрін автоматты түрде жіктеу жүйесін жасау	20.03-17.04.2025 ж.	Орындалды
Алынған нәтижелер негізінде көмірсутек газдарын сенімді анықтайтын құрылғының техникалық негіздемесін ұсыну	17.04-15.05.2025 ж.	Орындалды
Қорытынды бөлім	16.05-19.05.2025 ж	Орындалды

Аяқталған магистрлік диссертация үшін, оған қытысты бөлімдердегі
диссертациялар кеңесшілері мен қалып бақылаушының
қолдары

Бөлімдердің атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қол
Экономикалық бөлім	Туякбаев А.А, Техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор	14. 06. 25	
Еңбекті қорғау бөлімі	Туякбаев А.А, Техника ғылымының кандидаты, қауымдастырылған профессор	11. 06. 25	
Норма бақылаушы	Игембай Е.А, техника ғылымдарының магистрі, оқытушы	14. 06. 25	

Ғылыми жетекшісі

Туякбаев А.А

Білім алушы тапсырманы орындауға алды

Сүйіндік Ж.К

Күні

« 11 » 06 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл магистрлік диссертациялық жұмыста көмірсутекті газдарды анықтау әдістері жан-жақты қарастырылып, әсіресе олардың ішінде электрондық сенсорларға негізделген тәсілдерге ерекше назар аударылды. Қазіргі таңда өнеркәсіптік қауіпсіздік, экологиялық мониторинг және тұрмыстық қауіпсіздік салаларында газды анықтаудың маңызы артып келе жатыр. Осыған байланысты, сенсорлық технологиялар мен жасанды интеллект әдістерін біріктіру – өзекті зерттеу бағыттарының бірі болып табылады.

Зерттеу жұмысының негізі ретінде кеңінен қолданылатын MQ-4 газ сенсоры таңдалды. Бұл сенсор метан және табиғи газ секілді көмірсутекті газдарға сезімтал болып келеді және арзан, сенімді әрі қарапайым құрылымымен ерекшеленеді. MQ-4 сенсорының техникалық сипаттамалары, жұмыс істеу принципі, сезімталдық сипаттамасы және әртүрлі орта жағдайларындағы мінез-құлқы зерттелді. Зерттеу барысында сенсордан алынатын мәліметтерді сандық өңдеу, оларды калибрлеу және сипаттамаларын ерекшелеу тәсілдері қолданылды.

Бұдан әрі, сенсордан алынған мәліметтерді машиналық оқыту алгоритмдері арқылы өңдеу арқылы газдарды автоматты түрде тану және классификациялау жүйесі ұсынылды. Бұл мақсатта Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM) және Random Forest секілді алгоритмдер қолданыс тапты. Әр алгоритмнің дәлдігі, тиімділігі және есептеу жылдамдығы тәжірибелік деректер негізінде салыстырылып, нәтижелері талданды. Машиналық оқыту әдістерінің енгізілуі газдарды нақты әрі сенімді анықтау мүмкіндігін едәуір арттыратыны дәлелденді.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы – MQ-4 сенсоры мен машиналық оқыту әдістерін біріктіре отырып, көмірсутекті газдарды анықтайтын интеллектуалды жүйе ұсынуында. Мұндай жүйелер болашақта көпсенсорлы платформаларға негізделіп, өнеркәсіпте, кен орындарында және экологиялық қауіпсіздік саласында кеңінен қолданылуы мүмкін.

Сонымен қатар, диссертацияда газ анализінің физикалық және химиялық әдістеріне қысқаша шолу жасалып, олардың артықшылықтары мен шектеулері қарастырылды. Зерттеудің нәтижелері теориялық маңыздылықпен қатар, нақты тәжірибелік қолдану үшін де бағалы болып табылады.

Бұл зерттеу заманауи сенсорлық технологиялар мен жасанды интеллект әдістерінің қиылысуындағы маңызды мәселені көтеріп, ғылыми-техникалық прогрестің жаңа мүмкіндіктерін ашады. Алынған нәтижелер келешекте интеллектуалды қауіпсіздік жүйелерін құру мен автоматтандырылған экожүйелерде газды тану процестерін оңтайландыруда қолданылуы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

В данной магистерской диссертационной работе всесторонне рассмотрены методы обнаружения углеводородных газов, с особым вниманием к электронным сенсорным технологиям. В современных условиях важность точного и своевременного обнаружения газов возрастает в таких сферах, как промышленная безопасность, экологический мониторинг и бытовая защита. В связи с этим интеграция сенсорных систем и методов искусственного интеллекта является одним из актуальных направлений научных исследований.

В качестве основной элементной базы был выбран широко используемый газовый сенсор MQ-4. Этот сенсор чувствителен к метану и природному газу, отличается низкой стоимостью, надёжностью и простой конструкцией. В ходе исследования были изучены технические характеристики сенсора MQ-4, принцип его работы, чувствительность и поведение в различных условиях окружающей среды. Применялись методы цифровой обработки полученных данных, калибровка и выделение признаков.

На следующем этапе была предложена система автоматического распознавания и классификации газов с использованием алгоритмов машинного обучения на основе данных сенсора. В исследовании применялись алгоритмы Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM) и Random Forest. На основе экспериментальных данных была проведена сравнительная оценка точности, эффективности и скорости работы каждого алгоритма. Результаты показали, что внедрение методов машинного обучения значительно повышает надёжность и точность идентификации газов.

Научная новизна работы заключается в разработке интеллектуальной системы обнаружения углеводородных газов с использованием сенсора MQ-4 и алгоритмов машинного обучения. Подобные системы в будущем могут быть реализованы на многосенсорных платформах и применяться в промышленности, на месторождениях и в системах экологической безопасности.

Кроме того, в диссертации проведён краткий обзор физических и химических методов газового анализа, рассмотрены их преимущества и ограничения. Полученные результаты представляют как теоретическую, так и практическую ценность.

Данное исследование затрагивает важную проблему на пересечении современных сенсорных технологий и методов искусственного интеллекта, открывая новые перспективы для научно-технического прогресса. Полученные выводы могут быть использованы в разработке интеллектуальных систем безопасности и автоматизированных экосистем для газоанализа.

ANNOTATION

This master's dissertation provides a comprehensive study of hydrocarbon gas detection methods, with a particular focus on electronic sensor-based approaches. In modern contexts, the importance of accurate and timely gas detection is steadily increasing in fields such as industrial safety, environmental monitoring, and household protection. Accordingly, the integration of sensor systems with artificial intelligence methods has become one of the most relevant areas of research.

The widely used MQ-4 gas sensor was selected as the core hardware component of this study. This sensor is sensitive to methane and natural gases and is characterized by its low cost, reliability, and simple construction. The technical specifications, working principles, sensitivity range, and behavior under different environmental conditions of the MQ-4 sensor were analyzed. Methods for digital signal processing, sensor calibration, and feature extraction were applied.

Furthermore, a system for automatic gas recognition and classification using machine learning algorithms was proposed. Algorithms such as Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest were employed. Based on experimental data, the accuracy, efficiency, and computational performance of each algorithm were evaluated and compared. The results demonstrated that applying machine learning techniques significantly improves the reliability and accuracy of gas identification.

The scientific novelty of the research lies in the development of an intelligent hydrocarbon gas detection system that combines the MQ-4 sensor with machine learning methods. Such systems may be further developed on multisensor platforms and implemented in industrial, mining, and environmental safety applications.

In addition, the dissertation includes a brief overview of physical and chemical gas analysis methods, outlining their advantages and limitations. The research findings are of both theoretical and practical value.

This study addresses a critical issue at the intersection of modern sensor technologies and artificial intelligence, revealing new opportunities for scientific and technological advancement. The results can be used in the development of intelligent safety systems and automated gas analysis ecosystems.

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	9
Негізгі бөлім	
1 Көмірсутек газдары және олардың адам өміріне әсері	11
1.1 Көмірсутек газдарының түрлері (метан, этан, пропан, т.б.)	11
1.2 Газдардың физика-химиялық қасиеттері	12
1.3 Көмірсутек газдарының иісі және сезімталдық шегі	14
1.4 Көмірсутек газдарының жарылыс шектері	15
1.5 Көмірсутек газдарының улану шектері	16
1.6 Газдардың адам ағзасына әсері мен қауіпсіздік талаптары	17
2 Газдарды анықтауға арналған датчиктер мен технологиялар	19
2.1 Газды талдау әдістері: физикалық, химиялық, электрондық	19
2.2 Көмірсутекті газдарды анықтауға арналған датчиктер	26
2.3 MQ сериялы газ датчиктерінің жұмыс принциптері	27
2.4 Газ концентрациясының әсері	28
2.5 MQ сериялы газ сенсорларын дұрыс қолдану – техникалық құжаттаманы (даташитті) терең түсіну және параметрлерді дәл баптау	28
2.6 Машиналық оқыту арқылы иіс классификациясы	34
3 Тәжірибелік зерттеулер және нәтижелерді талдау	37
3.1 Эксперименттік орнату мен сынау шарттары	37
3.2 Нақты газ үлгілерін анықтау нәтижелері	39
3.3 Талдау мен машиналық оқытуға арналған деректерді дайындау	41
3.4 Gradient Boosting моделі арқылы машиналық оқыту	45
Қорытынды	47
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	48
Қосымша А	
Қосымша Б	

КІРІСПЕ

Көмірсутегі газының датчигі жоғары қысымды көмірсутегі газына тәуелді әртүрлі өнеркәсіп салаларының қауіпсіздігін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. Көмірсутегі датчиктерінің жаңа түрлері, соның ішінде қатты электролитті, металл-оксидті жартылай өткізгішті және басқада түрлері қарастырылады.

Көмірсутегі газының датчигі анықталатын газдың (химиялық белсенділік, жақсы жылу өткізгіштік, төмен тұтқырлық және т.б.) сипаттамаларына ие болғандықтан, ол басқа жанғыш газдармен салыстырғанда ең көп анықтау принципіне ие сенсор болып табылады.

Көмірсутегі газын анықтаудың бірнеше әдістері бар, бірақ соңғы жылдары айтарлықтай технологиялық жетістіктерге жеткен инфрақызыл әдісі метанды анықтауға тиімді әдіс болып табылады.

Қауіпсіздік мақсатында практикалық қолданыстағы көмірсутегі датчиктерінің үш негізгі түрі бар: каталитикалық жану, жартылай өткізгішті және газ жылуөткізгіштік типтері. Жартылай өткізгішті датчиктердің бірнеше түрі бар, бірақ мұнда біз ыстық сым (hot-wire) жартылай өткізгішті датчиктерді талдаймыз. Жартылай өткізгішті hot-wire (ыстық сым) датчиктері көмірсутек газдарын анықтауда жиі қолданылады. Бұл датчиктер каталитикалық жану принципіне негізделген және жанғыш газдарды анықтауда жоғары сезімталдыққа ие.

Осы диссертациялық жұмысты жүргізу қажеттілігінің өзектілігі. ІЕА деректері бойынша 2023 жылы табиғи газдың әлемдік нарығы 4,3 трлн текше метр кубқа жетті. Ал ТМЖ деректері бойынша Қазақстанда әр жыл сайын 5000 үй газының ағып кету жағдайы тіркеледі. Осы апаттардан туындаған тікелей экономикалық шығындар жылына 35 млрд теңгені асып түседі [1]. Қазіргі уақытта газдың иісін анықтау үшін негізінен мынадай әдістер қолданылады:

- Адамның иіс сезу мүшесі (сенімсіздігі жоғары);
- Химиялық индикаторлар (уақытты көп қажет етеді);
- Электронды газ анализаторлары (қымбат және күрделі).

Бұл деп отырғанымыз қолданыстағы анықтау жүйелері біршама кемшіліктерге ие екенін көрсетеді:

Адамның иіс сезуі:

- Этилмеркаптан (одорант) анықтау шегі - 0,00014 мг/м³
- 20% ЖЖКО-дан жоғары концентрацияда иіс сезілмейді

Қазіргі газ анализаторлары:

- Жоғары құны (өнеркәсіптік модельдер үшін 250 000 теңгеден бастап)
- Одоранттарға төмен селективтілік
- Үлкен өлшемдер (әсіресе оптикалық және хроматографиялық жүйелер)

Зерттеудің мақсаты. Қолжетімді коммерциялық құрылғылардың бағасы жоғары әрі кейбірі тек бір ғана газ түрін анықтауға бағытталған. Осыған байланысты, төмен бағада, бірнеше газ түрін тануға қабілетті, сенімді және интеллектуалды жүйелер жасау – өзекті ғылыми-техникалық мәселе болып табылады.

Бұл мақсатты жүзеге асыру үшін келесі міндеттер қойылды:

1. Көмірсутек газын анықтауға арналған заманауи сенсорларды салыстыру (МОС, инфрақызыл, электрохимиялық).
2. Көмірсутек газдарына (метан, пропан, сутек) сезімтал MQ-4 сенсорының жұмыс принципін және сипаттамаларын зерттеу;
3. Сенсордан алынған сигналдарды жинақтау және алдын ала өңдеу әдістерін әзірлеу;
4. Машиналық оқыту алгоритмдерін (мысалы, Gradient Boosting) пайдалана отырып, газ түрін автоматты түрде жіктеу жүйесін жасау;
5. Алынған нәтижелер негізінде көмірсутек газдарын сенімді анықтайтын құрылғының техникалық негіздемесін ұсыну.

Диссертациялық жұмыстың практикалық маңыздылығы: Жыл сайын ластанған атмосферада жұмыс істейтін адамдар саны артып келеді, сондай-ақ Қазақстан аумағында улы, жанғыш және жарылғыш заттарды пайдаланатын өнеркәсіптік нысандардың саны көбейіп келеді. Осыған байланысты, қоршаған ортаны бақылаудың заманауи әдістері мен құралдарын әзірлеу, атап айтқанда, ауадағы жанғыш және улы газдардың концентрациясын анықтау және олардың шекті рұқсат етілген концентрациясынан (ШРК) немесе жанғыш газдардың таралуының төменгі концентрациялық шегінен (ЖТКШ) асып кетуін болжау, өнеркәсіптік кәсіпорындар үшін аса өзекті зерттеу тақырыбы болып табылады.

1 Көмірсутек газдары және олардың адам өміріне әсері

1.1 Көмірсутек газдарының түрлері (метан, этан, пропан, т.б.)

Көмірсутекті газдар – құрамында тек көміртек (C) пен сутек (H) атомдары бар газ тәрізді заттар. Олар көбінесе табиғи газдың құрамында немесе мұнайды өңдеу кезінде кездеседі. Бұл газдардың бірнеше түрі бар және олар химиялық құрылымына қарай жіктеледі.

Көмірсутек газдарына метан (CH₄), этан (C₂H₆), пропан (C₃H₈), бутан (C₄H₁₀) және басқа алкандар, сондай-ақ этилен (C₂H₄) және пропилен (C₃H₆) сияқты қанықпаған көмірсутектер жатады.

Алкандар – бұл циклсыз құрылымды қаныққан көмірсутектер. Олар парафиндер деп те аталады.

Алкандардың жалпы формуласы – C_nH_{2n+2} [18].

Алкандардың гомологтық қатарында молекулалық массасы артқан сайын олардың балқу және қайнау температуралары да жоғарылайды (1-кесте).

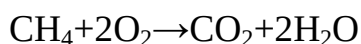
Метан, этан, пропан және бутан – түссіз әрі иіссіз газдар.

1-кесте. Кейбір қалыпты алкандардың формулалары, атаулары және физикалық қасиеттері

Атауы	Формула	T _{балқу} , °C	T _{қайнау} , °C	Қалыпты жағдайда күй
Метан	CH ₄	-184	-162	иіссіз газдар
Этан	C ₂ H ₆	-183	-88	
Пропан	C ₃ H ₈	-188	-42	
Бутан	C ₄ H ₁₀	-138	-0,5	
Пентан	C ₅ H ₁₂	-132	36	мұнай немесе бензин иісі бар сұйықтықтар
Гексан	C ₆ H ₁₄	-95	68	
Гептан	C ₇ H ₁₆	-90	98	
Октан	C ₈ H ₁₈	-57	126	
Нонан	C ₉ H ₂₀	-54	151	
Декан	C ₁₀ H ₂₂	-30	174	

1. Метан (CH₄)

Метан — ең қарапайым және кең таралған алкан. Ол табиғи газдың негізгі компоненті болып табылады (шамамен 85–95%). Түссіз, иіссіз және жанғыш газ. Метан биологиялық ыдырау, шіріген органикалық қалдықтар және мұнай-газ кен орындарында түзіледі. Жанған кезде көмірқышқыл газы мен су түзеді:



2. Этан (C_2H_6)

Этан — метаннан кейінгі келесі тұрақты алкан. Ол табиғи газ құрамында аз мөлшерде кездеседі және мұнайды өңдеу кезінде бөлінеді. Этан этилен өндіруде (пластмасса, полимер өндірісі) шикізат ретінде кеңінен қолданылады.

3. Пропан (C_3H_8)

Пропан - үш көміртек атомынан тұратын алкан. Ол табиғи газ бен мұнайдан алынады және сұйытылған күйде (СНГ) тұрмыстық қажеттіліктерге (пеш, жылыту жүйелері) және көлік отыны ретінде пайдаланылады. Пропан ауада жақсы жанады, бірақ метан мен этанға қарағанда ауырлау және аздаған иісі бар.

4. Бутан (C_4H_{10})

Бутан екі изомер түрінде кездеседі: *н-бутан* және *изобутан*. Бұл газ да сұйытылған түрде (LPG — Liquefied Petroleum Gas) тұрмыстық газ плиталарында, оттықтарда және өнеркәсіптік қондырғыларда қолданылады. Бутан оттегімен жанғанда метан секілді өнімдер түзеді.

5. Басқа көмірсутек газдары

Пентан (C_5H_{12}), гексан (C_6H_{14}) секілді көмірсутектер бөлме температурасында көбінесе сұйық күйде болады, бірақ олардың бу түріндегі үлгілері газ талдау жүйелерінде тіркелуі мүмкін. Сонымен қатар, қанықпаған көмірсутектер - этилен (C_2H_4), ацетилен (C_2H_2) және пропилен (C_3H_6) де газ түрінде кездесіп, түрлі өндіріс процестерінде қолданылады.

1.2 Газдардың физика-химиялық қасиеттері

Көмірсутек газдарының физика-химиялық қасиеттері олардың молекулалық құрылысына, молекуладағы көміртек атомдарының санына, байланыс түрлеріне және молекулааралық әрекеттесу күштеріне байланысты анықталады. Бұл қасиеттер газдарды тану, сақтау, тасымалдау және қауіпсіз пайдалануға негіз болады. Төменде ең жиі кездесетін көмірсутек газдарының негізгі физика-химиялық сипаттамалары берілген.

2-кесте – Көмірсутек газдарының негізгі физикалық қасиеттері

Қасиет түрі	Метан (CH_4)	Этан (C_2H_6)	Пропан (C_3H_8)	Бутан (C_4H_{10})
Молекулалық масса (г/моль)	16.04	30.07	44.10	58.12
Қалыпты жағдайда күйі	Газ	Газ	Газ	Газ / Сұйық
Қайнау	-161.5	-88.6	-42.1	-0.5

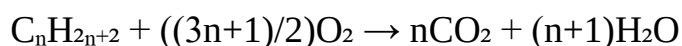
температурасы (°C)				
Балқу температурасы (°C)	-182.5	-183.3	-187.7	-138.3
Тығыздығы (ауа = 1)	0.55	1.04	1.52	2.01
Еріткіштігі (суға)	Төмен	Төмен	Төмен	Өте төмен
Иісі	Жоқ	Жоқ	Әлсіз	Әлсіз

Бұл газдардың барлығы - ауаға қарағанда жеңіл немесе шамалас, сондықтан олар ашық кеңістікте тез таралады. Бірақ жабық ортада жиналса - жарылыс қаупі жоғары.

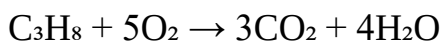
а) Химиялық қасиеттері

– *Жанғыштық*: Барлық көмірсутек газдары оттегімен әрекеттесіп, жану реакциясына түседі. Реакция кезінде жылу бөлінеді - бұл оларды отын ретінде пайдалануға мүмкіндік береді.

Жалпы жану реакциясы:



Мысалы, пропанның жануы:



– *Полимерлену*: Қанықпаған көмірсутек газдары (мысалы, этилен, пропилен) қос байланыс есебінен полимерленуге бейім.

– *Сутектен ажырау*: Жоғары температурада кейбір көмірсутектер катализатор қатысында дегидрлеуге ұшырайды.

– *Оксидтер түзілуі*: Ж incomplete жану кезінде көміртек оксидтері (CO, CO₂) және кейбір жағдайда күйе (C) түзілуі мүмкін.

б) Жарылғыштық және тұтанғыштық қасиеттері

Көмірсутек газдарының көпшілігі белгілі бір концентрациялық диапазонда ауада жарылыс қаупін тудырады. Бұл диапазон *жарылыс шегі* деп аталады. 3-кестеде көрсетілген:

3-кесте – Көмірсутек газдарының жарылыс шегі (% көлем бойынша ауада)
(төменгі және жоғарғы жарылыс шектері – қауіпсіздікке қатысты маңызды параметрлер)

Газ түрі	Төменгі	Жоғарғы
----------	---------	---------

	жарылыс шегі (%)	жарылыс шегі (%)
Метан	5	15
Этан	3	12.5
Пропан	2.1	9.5
Бутан	1.8	8.4

1.3 Көмірсутек газдарының иісі және сезімталдық шегі

Көмірсутек газдарының иіс сипаттамалары мен олардың сезімталдық шектері (detector sensitivity threshold) - газдарды анықтау мен қауіпсіздік мониторингі үшін маңызды параметрлердің бірі. Бұл көрсеткіштер негізінде газ талдағыштар (газ анализаторлар) мен датчиктердің (мысалы, MQ-сериялы) сезімталдық деңгейі калибрленеді.

Көмірсутек газдарының көбі табиғатта иіссіз болады. Сондықтан оларды тұрмыстық және өндірістік қолданыста иістендіру (одорация) арқылы адам иісімен сезе алатындай етеді. Ең жиі қолданылатын иістендіргіштер - этилмеркаптан және тиофан сияқты органикалық күкірт қосылыстары.

– *Метан* (CH_4) - табиғи иіссіз газ. Қауіпсіздік мақсатында оған этилмеркаптан немесе тиофан қосылады. Бұл қосылыстардың иісі шіріген жұмыртқаны еске түсіреді.

– *Этан* (C_2H_6) - иіссіз. Этилмеркаптанмен иістендіріледі, ол өткір әрі жағымсыз иіс береді.

– *Пропан* (C_3H_8) - өте әлсіз иісі бар, алайда тұрмыста этилмеркаптан немесе метилмеркаптан қосылады. Бұл заттардың иісі - сарымсақ немесе шіріген иіс тәрізді.

– *Бутан* (C_4H_{10}) - иіссізге жуық, бірақ арнайы қосылған иістендіргіштер арқылы өткір, жағымсыз иіс пайда болады.

Бұл иістендіргіштер газдың ағып кетуін ерте анықтауға мүмкіндік береді, себебі адам иіс арқылы оны сезіп, тиісті қауіпсіздік шараларын қолдана алады.

4-кесте – Көмірсутек газдарының сезімталдық шегі (ppm бірлігінде)

Газ түрі	Адам сезетін концентрация (ppm)	MQ-сериялы сенсорлар сезетін шегі (ppm)
Метан	~1000–3000	200–10000 (MQ-4)
Этан	~1000–3000	100–5000 (MQ-4, MQ-5)
Пропан	~500–2000	300–10000 (MQ-6)
Бутан	~500–2000	300–10000 (MQ-6, MQ-2)

Адамның иіс сезу шегі әртүрлі, ал сенсорлардың дәлдігі - орта, температура, ылғалдылық сияқты факторларға тәуелді.

1.4 Көмірсутек газдарының жарылыс шектері

Газдың ауадағы белгілі бір концентрациясы жарылыс қаупін туғызуы мүмкін. Бұл концентрациялық аралық жарылыс шектері деп аталады және екі негізгі көрсеткіштен тұрады:

– LEL (Lower Explosive Limit) – газдың ауадағы ең төменгі жарылыс концентрациясы (одан төмен – жарылыс болмайды, отқа тұтанбайды).

– UEL (Upper Explosive Limit) – газдың ауадағы ең жоғарғы жарылыс концентрациясы (одан жоғары – ауа жетіспегендіктен жану жүрмейді).

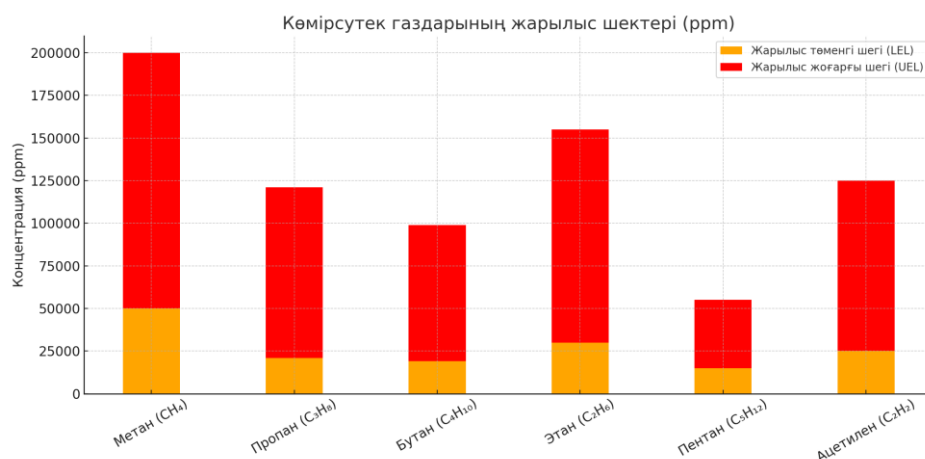
Бұл шектер әдетте ppm (parts per million) немесе пайыздық (%) көлеммен беріледі.

5-кесте Негізгі көмірсутек газдарының жарылыс шектері

Газ атауы	LEL (төменгі шек)	UEL (жоғарғы шек)	Ауадағы жарылғыш концентрация аралығы
Метан (CH ₄)	5.0% (~50 000 ppm)	15.0% (~150 000 ppm)	50 000 – 150 000 ppm
Пропан (C ₃ H ₈)	2.1% (~21 000 ppm)	10.1% (~100 000 ppm)	21 000 – 100 000 ppm
Бутан (C ₄ H ₁₀)	1.9% (~19 000 ppm)	8.4% (~84 000 ppm)	19 000 – 84 000 ppm
Этан (C ₂ H ₆)	3.0% (~30 000 ppm)	12.5% (~125 000 ppm)	30 000 – 125 000 ppm
Пентан (C ₅ H ₁₂)	1.5% (~15 000 ppm)	7.8% (~78 000 ppm)	15 000 – 78 000 ppm
Ацетилен (C ₂ H ₂)	2.5% (~25 000 ppm)	100%	25 000 – 1 000 000+ ppm (кең аралық)

Бұл мәндер стандартты жағдайлар үшін (20–25°C, 1 атмосфера қысымда) алынған.

LEL мәнінен төмен концентрацияда газ тұтанбайды - сондықтан бұл мәнді қауіпсіздік жүйелері жиі "сигнал беру шегі" ретінде қолданады. Газ детекторлары жиі түрде "10% LEL", "20% LEL" секілді шектерге негізделіп бапталады. Жарылыс қаупі бар аймақтар (мысалы, өнеркәсіптік қондырғылар, мұнай өңдеу зауыттары) үшін бұл шектер жобалау мен қауіпсіздік шараларын анықтауда негізгі рөл атқарады.



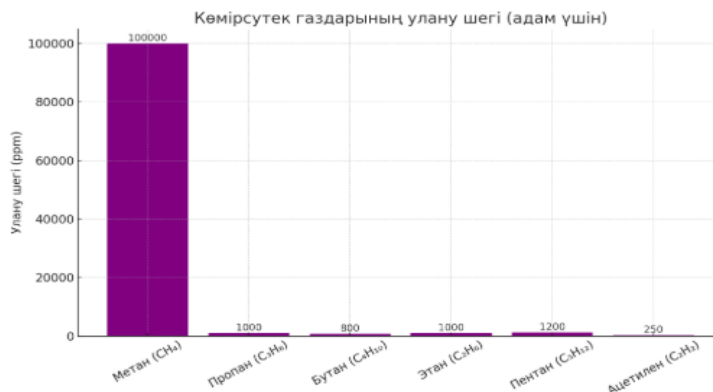
1.4-сурет – Көмірсутек газдарының жарылыстық шектері

Жоғарыдағы диаграммада метан, пропан, бутан, этан, пентан және ацетилен сияқты кең таралған көмірсутек газдарының жарылыс шектері келтірілген. Бұл мәліметтер газды бақылау жүйелерін жобалау кезінде ескерілуі тиіс.

1.5 Көмірсутек газдарының улану шектері

Көмірсутек газдары өндірістік, тұрмыстық және зертханалық ортада кеңінен қолданылады. Алайда олардың кейбірі жоғары концентрацияда адам организміне зиян келтіруі мүмкін. Бұл газдар иіссіз немесе аз иісті болғандықтан, олармен улану кейде байқалмай қалып, адам денсаулығына қауіп төндіреді.

Улану шегі – белгілі бір концентрациядан бастап газ адамға уытты әсер ететін деңгей. Бұл мәндер әр газ үшін әртүрлі және *TLV (Threshold Limit Value)* немесе *IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health)* стандарттарымен анықталады.



1.5-сурет – Көмірсутек газдарының улану шегі

Бұл мәндер шартты түрде келтірілген және адамның қысқа уақыт ішінде (мысалы, 30 минут–1 сағат) тыныс алуы жағдайында улану қаупін білдіреді: *Метан* (CH_4) – салыстырмалы түрде уытсыз, бірақ жоғары концентрацияда оттегіні ығыстырып, тұншықтыру қаупі бар. *Пропан, бутан, этан, пентан* – тыныс алу жүйесін тежейді. *Ацетилен* – ең уытты, жүйке жүйесіне әсер етуі мүмкін.

Жоғарыдағы графикте көмірсутек газдарының (метан, пропан, бутан, этан, пентан, ацетилен) *шартты улану шектері (ppm)* көрсетілген:

- Метан (CH_4) – шамамен 100 000 ppm деңгейінде тұншықтыру қаупі бар, бірақ уыттылығы төмен. Оның басты қаупі – оттегіні ығыстырып, адамды тыныссыз қалдыру.

- Пропан (C_3H_8) – 1000 ppm шегінен асқанда бас айналу, жүрек айну, ұйқышылдық белгілері байқалуы мүмкін.

- Бутан (C_4H_{10}) – 800 ppm-нан бастап орталық жүйке жүйесіне әсер ете бастайды.

- Этан (C_2H_6) – 1000 ppm деңгейінде де пропан сияқты әсер етеді.

- Пентан (C_5H_{12}) – 1200 ppm концентрациясында бас ауруы, әлсіздік туындатуы мүмкін.

- Ацетилен (C_2H_2) – ең уытты көмірсутектердің бірі, 250 ppm деңгейінен жоғары концентрацияда жүйке жүйесіне және тыныс алу органдарына кері әсер етеді.

1.6 Газдардың адам ағзасына әсері мен қауіпсіздік талаптары

а) Адам ағзасына физиологиялық әсері: ғылыми көзқарас

Көмірсутек газдары - органикалық қосылыстар қатарына жататын, негізінен алкандар тобына кіретін заттар (метан, этан, пропан, бутан және т.б.). Бұл газдар өнеркәсіптік және тұрмыстық қажеттіліктерде кеңінен қолданылады. Бірақ олардың кейбір физика-химиялық қасиеттері адам денсаулығына *қауіпті жағдай тудыруы мүмкін*, әсіресе газдың концентрациясы белгілі бір деңгейден жоғарылаған кезде.

Метан (CH_4) — ең көп таралған көмірсутек газы. Ол иіссіз, түссіз және салыстырмалы түрде уытты емес. Алайда жоғары концентрацияда атмосферадағы оттегіні ығыстырып, *гипоксия* немесе *тұншығу* жағдайын тудырады. Америкалық OSHA ұйымы (Occupational Safety and Health Administration) метанның рұқсат етілетін шекті концентрациясын 1000 ppm деңгейінде белгілеген.

Пропан және бутан — сұйық күйде сақталатын, ал қысым төмендегенде газға айналатын көмірсутек қосылыстары. Бұл газдар орталық жүйке жүйесіне әсер етеді, атап айтқанда: қысқа уақыт ішінде жоғары концентрацияда ингаляция (тыныспен қабылдау) кезінде бас айналу, бас ауруы, бағдарсыздық байқалады. Халықаралық қауіпсіздік нұсқаулықтары (NIOSH, CDC)

пропанның 1000 ppm, ал бутанның 800 ppm шегінен аспауы тиіс екенін ескертеді.

б) Газбен улану белгілері және клиникалық жағдайлар

Көмірсутекпен улану оқиғалары медицинада құжатталған. Мысалы, 2019 жылы Канадада жүргізілген зерттеу (J. Environ. Health, vol. 81) көмірсутек негізіндегі отынмен жылытылатын жабық кеңістіктерде адамдарда *созылмалы бас ауруы, ұйқысыздық, тіпті когнитивтік функциялардың төмендеуі* байқалғанын көрсеткен. Бұл — газдың оттегімен алмасуы нашарлаған ортада ұзақ уақыт болудың әсері.

Егер метан немесе пропан газымен уланған адам дер кезінде ашық ауамен қамтамасыз етілмесе, *естен тану, жүрек жұмысының баяулауы*, тіпті өлім қаупі артады.

с) Қауіпсіздік талаптары мен инженерлік шешімдер

Газ қауіпсіздігі стандарттары халықаралық және ұлттық деңгейде нақты регламенттелген. Мысалы:

– ISO 20560 стандарты өндірістік ортада газ құбырларын таңбалау мен газ сипаттамаларын дұрыс анықтауды талап етеді;

– Қазақстан Республикасының *Өрт қауіпсіздігі талаптары* (ҚР ТЖМ, 2022) газбен жұмыс істейтін барлық нысандарда сенсорлар мен автоматты өшіру жүйелерін орнатуды міндеттейді.

д) Осыған байланысты нақты қауіпсіздік шаралары:

1. Газ ағып кетуді анықтау жүйелері (газ датчиктері):

MQ-4 (метанға), MQ-6 (пропанға), MQ-135 (жалпы VOC үшін) - ең жиі қолданылатын сенсорлар. Олар ppm деңгейінде нақты өлшем жасап, сигнализация береді.

2. Желдету және ауа алмасу жүйесі:

Зиянды газдар жиналатын жерлерде механикалық желдету міндетті. Газ концентрациясы 10% LEL (Lower Explosive Limit) деңгейінен асқанда автоматты дабыл жүйесі іске қосылады.

3. Жеке қорғаныс құралдары (ЖҚК):

Маска-фильтрлер (A1B1E1 класы), отқа төзімді киім, оқшаулау респираторлары қолданылады.

4. Оқыту және дайындық:

Газбен жұмыс істейтін қызметкерлер арнайы дайындықтан өтіп, төтенше жағдай кезіндегі әрекет жоспарын білуі тиіс.

2 Газдарды анықтауға арналған датчиктер мен технологиялар

2.1 Газды талдау әдістері: физикалық, химиялық, электрондық

Көмірсутек газдарын талдау – энергетика, экология және өнеркәсіптік процестерді бақылау салаларында маңызды міндеттердің бірі. Бұл бөлімде көмірсутек газдарын талдаудың физикалық, химиялық және электрондық әдістері қарастырылады. Көмірсутек газдарын анықтау әдістері - газдардың түріне, концентрациясына, орта жағдайына және қолдану мақсатына байланысты таңдалатын күрделі ғылыми тәсілдер жүйесі. Бұл әдістерді төрт негізгі топқа бөлуге болады: физикалық, химиялық, электрохимиялық және электрондық (сенсорлық). Әрбір әдіс белгілі бір техникалық және аналитикалық артықшылықтарға ие. Төменде осы әдістердің кеңейтілген ғылыми сипаттамасы, формулалар және схемалармен бірге ұсынылады.

Физикалық әдістер

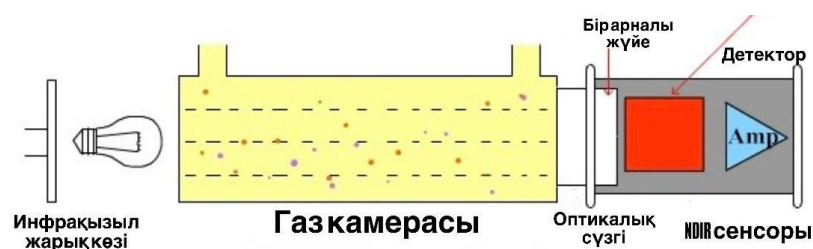
Газдарды физикалық әдістермен талдау спектроскопиялық және басқада тәсілдерге негізделген [3]. Мұндай әдістер дәлдігі жоғары және нақты газ құрамын анықтауға мүмкіндік береді [2].

Инфрақызыл (IR) спектроскопия

Дисперсияланбайтын инфрақызыл (NDIR) газды анықтау технологиясының принципі – газдардың өзіне тән инфрақызыл толқын ұзындықтарын сіңіруі Ламберт-Бер заңына бағынатынында. Бұл технологияның негізгі жұмыс істеу механизмі мынадай: инфрақызыл жарық көзі газ үлгісін алу камерасы арқылы сәуле жібереді, ал сол газ үлгісіндегі әрбір компонент өзіне тән жиіліктегі инфрақызыл сәулелерді сіңіреді. Сәйкес жиіліктегі сәуленің қаншалықты сіңірілгенін арнайы детектор анықтап, тіркейді. Бұл мәліметтер кіріктірілген бағдарламалық қамтамасыз етудегі алгоритмдермен өңделіп, газ компонентінің концентрациясын есептеуге мүмкіндік береді. Бұл әдістің «дисперсияланбайтын» деп аталуының себебі - газ камерасынан өтетін инфрақызыл сәулелер толқын ұзындығы бойынша алдын ала оптикалық сүзгіден өтпейді. Бугер-Ламберт заңы:

$$A = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

Мұндағы: A - сіңіру (абсорбция) коэффициенті, ε - молярлық сіңіру коэффициенті, c - газ концентрациясы, l - оптикалық жол ұзындығы



2-сурет – Инфрақызыл газ талдағыш

Төменде көмірсутек газдарын физикалық әдістермен талдаудың негізгі сипаттамалары салыстырмалы түрде көрсетілген:

6-кесте Физикалық талдау әдістерінің салыстырмасы

Әдіс	Өлшенетін параметр	Сезімталдық	Артықшылықтары	Шектеулері
Жылу өткізгіштік	λ	Орташа	Қарапайымдылығы, тез өлшеу	Бақылау газы қажет
ИК-спектроскопия	ИК жұтылуы	Жоғары	Жоғары селективтілік	Калибрлеу қажет
Ультрадыбыстық	Дыбыс жылдамдығы	Орташа	Байланыссыз әдіс	Температураға тәуелді
Интерферометрия	Сыну көрсеткіші (n)	Жоғары	Жоғары дәлдік	Ылғалға сезімтал
Гравиметрия	Массалық тығыздық (ρ)	Төмен	Қарапайым, зертханада дәл	Нақты жағдайды бақылау қажет

Химиялық әдістер

Көмірсутекті талдаудың химиялық әдістері газ компоненттерінің реагенттермен әрекеттесуіне, содан кейін реакция өнімдерін анықтауға негізделген. Бұл әдістер сапалы (затты анықтау) және сандық (концентрацияны анықтау) болып екіге бөлінеді. Химиялық әдістер – газ құрамындағы заттардың реакцияға түсу қасиеттеріне негізделеді [1].

Газ хроматографы

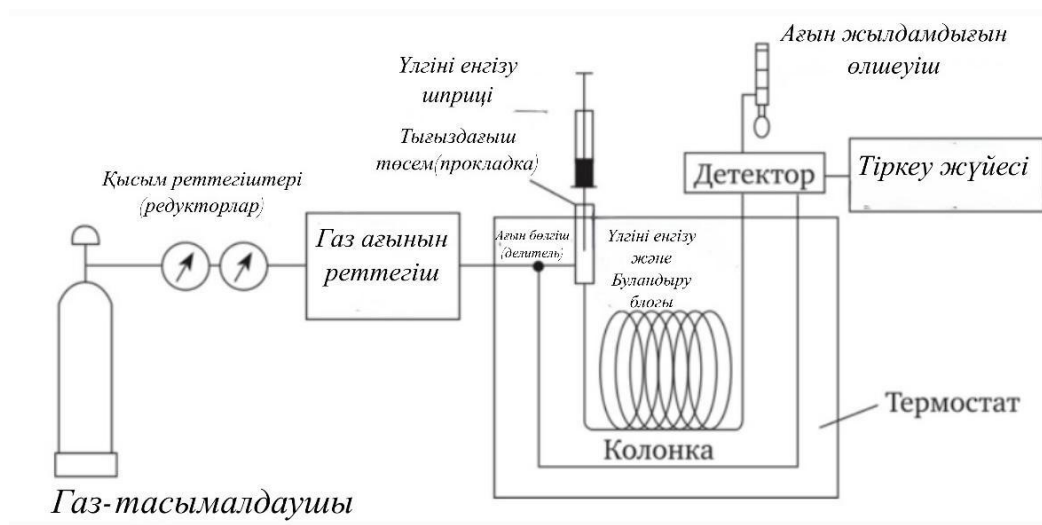
Хроматография — табиғи газдар мен газ конденсаттарының құрамын анықтауда қолданылатын негізгі әдістердің бірі болып табылады. Осы мақсатта ұшқыш және термотұрақты қосылыстарды бөлуге арналған әдіс - газдық хроматография (ГХ) пайдаланылады [17]. Табиғи газдар мен мұнай фракцияларының компоненттері дәл осындай сипатқа ие.

Газдық хроматографияда қозғалмалы фаза ретінде инертті газ, яғни газ-тасымалдаушы қолданылады. Бұл мақсатта әдетте гелий, азот немесе аргон пайдаланылады. Ал қозғалмайтын фаза (сорбент) ретінде кеуекті қатты

тасымалдаушы қолданылса, бұл әдіс газ-адсорбциялық хроматография (ГАХ) деп аталады. ГАХ үшін ең жиі қолданылатын тасымалдаушылар - арнайы сортты силикагельдер, цеолиттер, активтелген көмір, стирол мен дивинилбензол сополимерлерінен алынған пористі материалдар.

Газдық хроматографияның тағы бір түрі - газ-сұйықтық хроматографиясы (ГЖХ), мұнда сорбент ретінде қатты тасымалдаушыға жағылған тұтқыр, ұшпайтын сұйықтық қолданылады. Мұндай сұйық фазалардың бірнеше түрлері белгілі, олардың көпшілігі силоксан және полиэфир класына жатады.

Сорбенттердің алуан түрлілігі газдық хроматография әдісінде нақты талдау міндеттерін шешуге ең қолайлы нұсқасын таңдауға мүмкіндік береді.



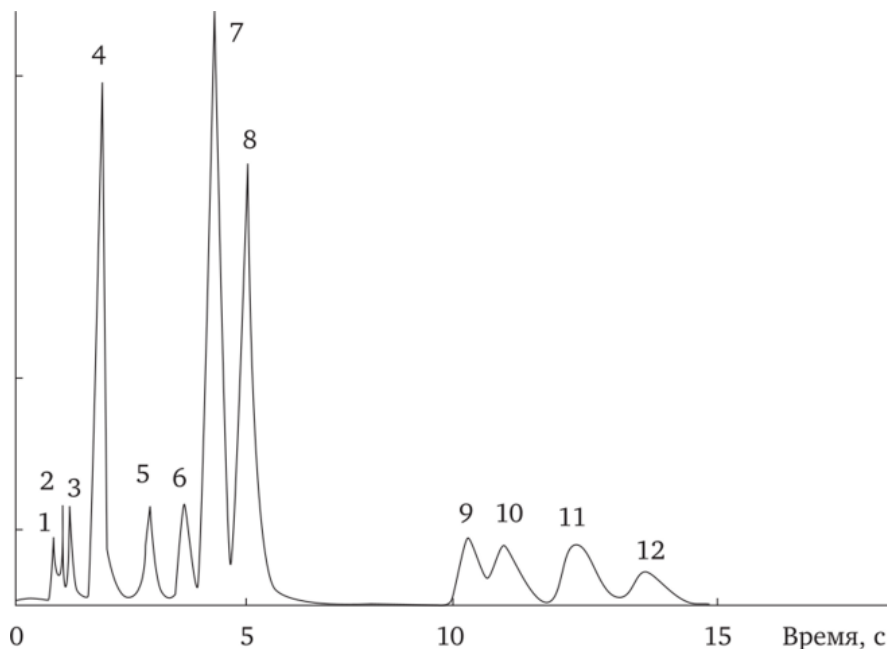
2.1-сурет – Газ хроматографының схемасы

Газдық хроматографтың принциптік схемасы 2.1-суретте көрсетілген. Газ-тасымалдаушы баллоннан шығып, қысым мен ағын жылдамдығын реттейтін құрылғылар арқылы буландырғышқа (испаритель) түседі. Буландырғышқа зерттелетін заттың үлгісі де енгізіледі. Сұйық үлгілерді енгізу үшін арнайы микрошприц қолданылады. Ал газ тәрізді үлгілерді нақты көлемде енгізу үшін кран-дозаторлар пайдаланылады. Үлгінің массасы, әдетте, миллиграммның оннан бір бөлігін құрайды.

Газ-тасымалдаушы ағынымен бірге буландырылған үлгі колонкаға түседі, мұнда қоспа жекелеген компоненттерге бөлінеді. Колонка термостатқа орналастырылады, ол температураның тұрақтылығын немесе алдын ала берілген бағдарлама бойынша (әдетте, сызықты түрде белгілі бір мәнге дейін) өзгеруін қамтамасыз етеді. Температура артқан сайын үлгі компоненттері колонкадан тезірек өтеді, бұл талдау уақытын қысқартады. Алайда, температураның жоғарылауымен бірге бөліну сапасы, әдетте, төмендейді.

Колонкадан шыққаннан кейін газ ағыны детектор арқылы өтеді, онда үлгінің компоненттері тіркеледі. Детектордан алынған электрлік сигнал

күшейтіліп, аналогты-цифрлық түрлендіргішке (АЦТ) беріледі, ал АЦТ арқылы алынған цифрланған мәліметтер компьютерге жіберіледі. С–С₄ көмірсутектер қоспасының хроматограммасы 2.2-суретте көрсетілген. Бұл тәсілдер көбінесе зертханалық жағдайларда қолданылады және жоғары селективтілікке ие [4].



2.2-сурет – Газ қоспасының хроматограммасы

1 — метан; 2 — этан; 3 — этилен; 4 — пропан; 5 — ацетилен; 6 — пропилен; 7 — изобутан; 8 — н-бутан; 9 — транс-бутен; 10 — изобутен; 11 — бутен-1; 12 — цис-бутен

7-кесте Көмірсутек газдарын талдаудың химиялық әдістерінің салыстырмалы кестесі

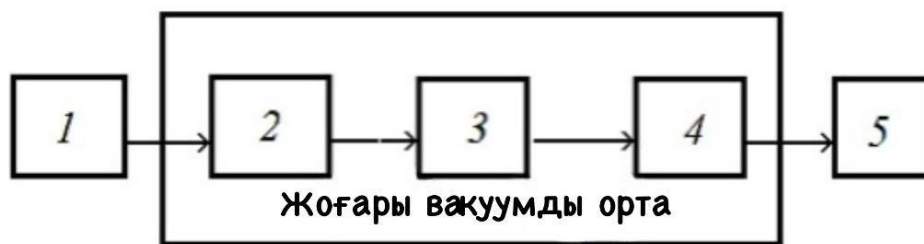
№	Әдіс	Әрекет ету принципі	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Қолдану саласы
1	Газдық хроматография	Қоспа компоненттері н сорбент арқылы өткізу арқылы бөлу	Жоғары сезімталдық пен дәлдік, көп компонентті қоспаларды талдау мүмкіндігі	Қымбат құрал-жабдықты және арнайы дайындықты қажет етеді	Табиғи газ, өндірістік шығарындылар құрамын талдау
2	Спектрофотометрия	Затпен жарықтың белгілі толқын ұзындығындағы жұтылуын өлшеу	Орындалуы оңай, қолжетімді, сандық талдау үшін жарамды	Төмен селективтілік, басқа заттар кедергі келтіруі	Жеке компоненттердің (мысалы, бензол) құрамын талдау

				мүмкін	
3	Химиялық абсорбция	Газды арнайы реагенттермен сіңіріп, ерітіндіні кейін талдау	Салыстырмалы түрде оңай, дала жағдайларына жарамды	Төмен дәлдік, әртүрлі газдар үшін реагенттердің шектеулі таңдауы	Концентрацияны алдын ала бағалау, жедел талдау
4	Титриметриялық талдау	Компоненттерді титрлеу арқылы сандық анықтау	Қолжетімді, дұрыс орындалса – жоғары дәлдік	Уақыты ұзақ, қолмен жұмыс, күрделі қоспаларға жарамайды	Жеке көмірсутектерді зертханалық талдау
5	Колориметриялық әдіс	Затпен әрекеттескенде реагент түсінің өзгеруі	Жылдам және визуалды түрде байқалатын нәтиже	Төмен дәлдік, шектеулі сезімталдық	Индикаторлық тестілер, дала жағдайында бақылау
6	Йодометрия / перманганометрия	Көмірсутектердің тотығу-тотықсыздану реакциялары негізінде	Белгілі заттарға жоғары селективтілік	Барлық қоспаларға жарамайды, қолданылуы күрделі	Жекелеген көмірсутек класын анықтау (мысалы, алкендер)

Электронды әдіс

Масс-спектрометрия – жоғары сезімталдық пен селективтілікке ие, химиялық заттардың құрылымын, молекулалық массасын және құрамын дәл анықтауға мүмкіндік беретін заманауи аналитикалық әдіс [16]. Бұл әдіс әсіресе көмірсутек тектес газ тәрізді қосылыстарды сапалық және сандық тұрғыдан зерттеуде кеңінен қолданылады. Масс-спектрометрияның жұмыс істеу принципі – талданатын зат молекулаларын иондау, алынған иондарды олардың масса-заряд қатынасы (m/z) бойынша вакуумда бөлу және арнайы детектор арқылы спектрлік деректерді тіркеу негізінде жүзеге асады.

Көп жағдайда масс-спектрометрия газ хроматографиясымен (ГХ-МС) біріктіріліп қолданылады. Бұл алдын ала қоспа компоненттерін бөліп, масс-спектрометрге жеке енгізу арқылы талдау дәлдігін арттырады және күрделі газ қоспаларында нақты нәтижелерге қол жеткізуге мүмкіндік береді.



2.3-сурет – Масс-спектрометрдің құрылымдық схемасы

1 – үлгі енгізу жүйесі, 2 – иондарды үдететін ион көзі, 3 – масс-анализатор (иондарды бөліп айыратын құрылғы), 4 – детектор, 5 – өлшеу немесе тіркеу құрылғысы

Иондардың басқа атомдармен немесе молекулалармен соғылып кетпеуі үшін талдау вакуумде жүргізіледі. Иондауышта қысым $10^{-3} - 10^{-4}$ Па, ал масс-анализаторда – $10^{-3} - 10^{-8}$ Па шамасында болады. Жұмыс істеу принципі төменде көрсетілген:

а) Үлгінің енгізілуі

Газ қоспасы арнайы капиллярлы жүйе арқылы құрылғының иондау камерасына беріледі.

б) Иондау

Көмірсутек молекулалары (мысалы, CH_4 , C_2H_6) электрондық соқтығысу әсерінен иондалады. Нәтижесінде молекулалық иондар мен олардың фрагменттері түзіледі.

с) Массаларды талдау

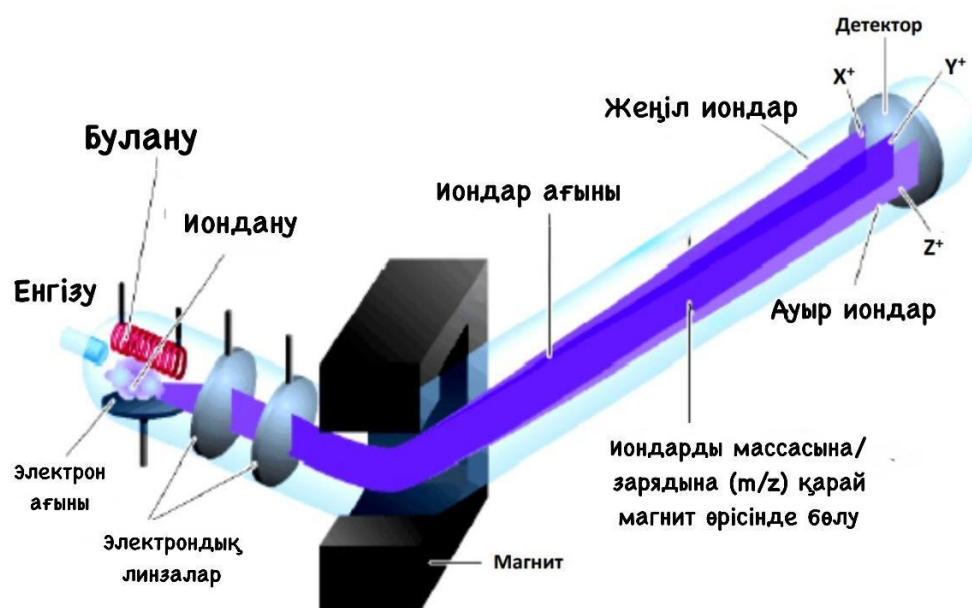
Үдетілген иондар ағыны масс-анализаторға түседі, онда олар массасы мен зарядтарына қарай бөлінеді. Бұл олардың әртүрлі салмаққа қарай бөлінуіне мүмкіндік береді.

д) Детектор

Сұрыпталған иондар детекторға түседі, ол олардың мөлшерін өлшеп, электрлік сигналдар түрінде тіркейді.

е) Шығу деректері

Жиналған сигналдардың негізінде **масс-спектр** - иондардың массасына қарай олардың қарқындылығын көрсететін график құрылады. Спектрдегі әрбір шың нақты бір көмірсутек қосылысын білдіреді.



2.4-сурет – масс-спектрометрдің сұлбасы

7-кесте Көмірсутек газдарын талдаудың электрондық әдістерінің салыстырмалы кестесі

№	Әдіс	Әрекет ету принципі	Артықшылықтары	Кемшіліктері	Қолдану саласы
1	Газға сезімтал сенсорлар (MQ)	Газбен әрекеттескенде сенсор кедергісінің өзгеруін өлшеу	Төмен баға, қолдануға оңай, жылдам әрекет	температура мен ылғалдылыққа тәуелді	Газдың ағуын анықтау, қауіпсіздік жүйелері, бөлме мониторингі
2	Инфрақызыл спектроскопия (NDIR)	Белгілі молекулалардың инфрақызыл сәулеленуді жұтуы	Жоғары дәлдік, селективтілік, байланыссыз талдау	Қымбат, калибрлеу мен тазалауды қажет етеді	Өндірістік және зертханалық талдау, ауа мониторингі
3	Масс-спектрометрия	Молекулаларды иондау және оларды электрлік/магниттік өрісте масса бойынша бөлу	Өте жоғары сезімталдық, нақты құрамды анықтау	Өте қымбат құрал, қызмет көрсету күрделі	Ғылыми зерттеулер, криминалистика, зертханалық талдау
4	Электрохимиялық сенсорлар	Электродтарда газдың тотығуы/тотықсыздануы кезінде ток пайда болады	Шағын, энергия үнемдеуші, жақсы селективтілік	Қызмет ету мерзімі шектеулі, жиі калибрлеу қажет	Ауа газын талдау құрылғылары, портативті құрылғылар
5	Жартылай	Газ адсорбциясы	Қарапайым,	Сыртқы	Тұрмыстық

	өткізгіш сенсорлар	кезінде материал өткізгіштігінің өзгеруі	арзан, миниатюризация мүмкіндігі	жағдайларға сезімтал, сигнал тұрақсыз болуы мүмкін	газ талдағыштар, мониторинг жүйелері
6	Импеданстық талдау	Газ әсерінен сенсор бетіндегі импеданстың өзгеруін өлшеу	Өртүрлі концентрацияларға жоғары сезімталдық	Күрделі электроника мен математикалық өңдеуді талап етеді	Заманауи сенсорлық жүйелер, интеллектуалды құрылғылар

2.2 Көмірсутекті газдарды анықтауға арналған датчиктер

1-кесте: Бір газды анықтауға арналған датчиктер

Датчик	Газ	Жұмыс принципі	Анықтау диапазоны (ppm)	Бағасы (USD)	Артықшылықтары	Кемшіліктері
MQ-4	Метан (CH ₄)	Жартылай өткізгіш	200–10000	2–5	Арзан, кең таралған	Басқа газдарға да әсер етеді
MQ-6	Пропан, бутан	Жартылай өткізгіш	300–10000	2–5	Жылдам жауап	Селективтілігі төмен
TGS2611	Метан (CH ₄)	Жартылай өткізгіш	500–10000	15–25	Дәлдігі жоғары	Бағасы жоғарырақ
TGS2610	Пропан, изобутан	Жартылай өткізгіш	500–10000	15–25	Тұрақты жұмыс	Ресурсы шектеулі
IRnet-P	Метан (CH ₄)	ИК (NDIR)	0–100% LEL	80–120	Дәл, ылғалға сезімтал емес	Қымбат
MIPEX-02	Метан, пропан	ИК (NDIR)	0–100% LEL	200–400	Жоғары селективтілік пен тұрақтылық	Өте қымбат

2-кесте: Бірнеше газды анықтауға арналған датчиктер

Датчик	Анықталатын көмірсутек газдары	Жұмыс принципі	Бағасы (USD)	Артықшылықтары	Кемшіліктері
MQ-9	CO + CH ₄ (метан)	Жартылай өткізгіш	2–5	Қарапайым, CH ₄ үшін жарамды	CO әсер етеді, дәлдігі төмен
BME688	Метан, этан, пропан,	MOX + AI	10–20	VOC талдау, ықшам, I2C	AI өңдеуді қажет етеді

	бутан (AI арқылы)				
SGP30	Этан, изопрен, ацетон, пропан және т.б.	MOX	15–25	Сандық шығыс, тұрақты	Нақты газдарды ажыратпайды
MiniRAE 3000	Бензол, толуол, гексан және т.б.	Фотоионизация	1000+	Күрделі қоспалар үшін дәл	Өте қымбат, қызмет қажет

2.3 MQ сериялы газ датчиктерінің жұмыс принциптері

Белгілі бір газдардың немесе сұйық булардың болуын немесе пайда болуын бақылау қажеттілігін қарастырған кезде, бірінші кезекте MQ сериясының сенсорлары ойға келеді. Бұл бюджеттік, дәлелденген, сенімді және оңай жүзеге асырылады.

MQ сериялы газ датчиктері - арзан, сенімді және кеңінен таралған жартылай өткізгіштік негіздегі сенсорлар болып табылады. Олар ауадағы түрлі газдардың (мысалы, метан, пропан, бутан, көмірқышқыл газы, аммиак, спирт, сутек және т.б.) концентрациясын анықтау үшін қолданылады. Бұл датчиктер газды сапалық тұрғыда анықтап қана қоймай, оның салыстырмалы концентрациясын бағалауға мүмкіндік береді.

MQ сериялы сенсорлардың негізгі жұмыс элементі - SnO_2 (қалайы диоксиді) негізіндегі жартылай өткізгіш [19]. Бұл материал таза ауада төмен өткізгіштікке ие, ал белгілі бір газдармен әрекеттескен кезде оның өткізгіштігі өзгереді. Датчик ішіндегі қыздырғыш элемент SnO_2 қабатын белгілі бір температураға дейін қыздырып, оны газдармен әрекеттесуге дайын күйге келтіреді.

Газдың әсерінен болатын реакция келесі принцип бойынша жүреді:

Тотығу немесе тотықсыздану реакциясы кезінде жартылай өткізгіш бетінде оттегі иондары мен газ молекулалары әрекеттеседі. Бұл әрекет барысында электрон алмасу жүреді және жартылай өткізгіштің электрлік кедергісі өзгереді. Газ концентрациясы артқан сайын, өткізгіштікке әсері де күшейеді - осы өзгеріс датчиктің шығыс кернеуінде көрініс табады.

Датчик - зерттелетін газға сезімтал химиялық қосылыспен қапталған керамикалық түтік. Бұл түтік платина жіптеріндегі контактілердің терминалдары арасындағы кеңістікте ілулі (бұл жерде платина бейтарап химиялық элемент болып табылады). Түтік арқылы қыздырғыш жіп өткізіледі. Қалыпты газ ортасында бұл түтік бір кедергіге ие, зерттелетін газбен жанасқанда түтіктің кедергісі өзгереді, қарсылықтың бұл өзгеруі бізге қажет сигнал болып табылады, оны әртүрлі тәсілдермен өңдеуге болады.

MQ сенсорларының сезімталдығы әртүрлі газдарға әртүрлі деңгейде болады, сондықтан әрбір модель нақты газ түріне бейімделген. Мысалы: MQ-2 – метан, пропан, түтін; MQ-3 – спирт, этанол, бензин; MQ-4 – метан; MQ-7 – көміртек тотығы (CO); MQ-135 – аммиак, күкірт диоксиді, бензол, түтін және т.б.

Сигналды өңдеу үшін MQ сенсорлары жиі түрде аналогтық шығыс сигналын береді. Бұл сигналды микроконтроллер немесе аналог-цифрлық түрлендіргіш (АЦТ) арқылы сандық мәнге айналдырып, газдың концентрациясын есептеуге болады. Алайда, бұл үшін сенсорды алдын ала калибрлеу қажет, себебі әрбір сенсордың шығу сипаттамасы бір-бірінен сәл ерекшеленеді және сыртқы температура, ылғалдылық сияқты факторларға тәуелді.

Сондай-ақ, сенсордың тұрақты және дәл жұмыс істеуі үшін жылыту кезеңі (preheating) қажет. Көп жағдайда бұл кезең 24 сағатқа дейін созылады, сонда ғана сенсор тұрақты күйге өтеді.

2.4 Газ концентрациясының әсері

MQ сериялы газ датчиктері (мысалы, MQ-2, MQ-3, MQ-4, MQ-135 т.б.) үшін газ концентрациясы мен олардың сезімталдық сигналы (яғни шығыс кернеуі немесе сезімталдықтың салыстырмалы мәні) арасында экспоненциалды немесе логарифмдік тәуелділік бар. MQ сенсорларының R_s/R_0 қатынасы арқылы газ концентрациясы анықталады [15]:

$$\frac{R_s}{R_0} = A \cdot (C)^{-B}$$

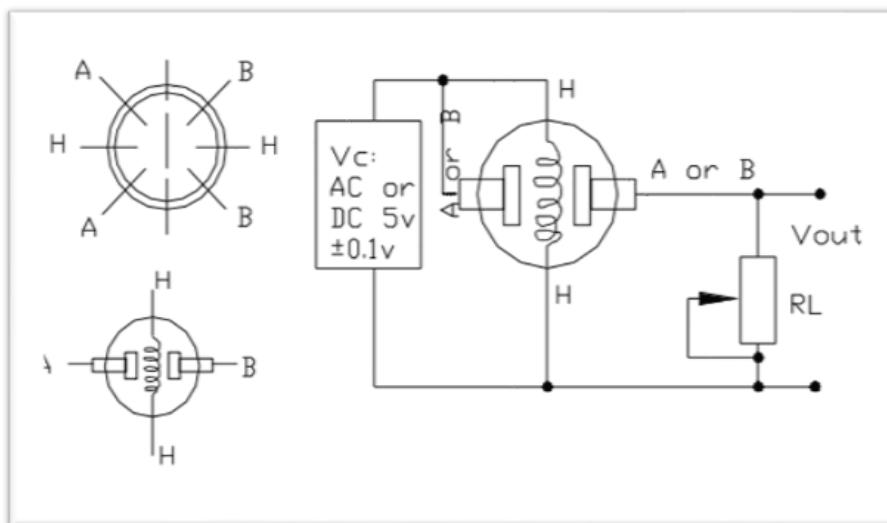
Мұндағы, R_s – сенсордың нақты газ кезіндегі кедергісі, R_0 – таза ауадағы (clean air) кедергі, C – газ концентрациясы (ppm), A , B – нақты газ бен сенсорға байланысты эмпирикалық коэффициенттер

Бізде R_s мәні сенсордың аналогты шығысынан есептеледі (кернеу арқылы) ал, R_0 – сенсорды калибрлеу кезінде анықталса, формула арқылы C мәнін табуға болады, бірақ көбінесе логарифмдік график арқылы интерполяция жасалады.

2.5 MQ сериялы газ сенсорларын дұрыс қолдану – техникалық құжаттаманы (даташитті) терең түсіну және параметрлерді дәл баптау

Мысал ретінде біз MQ-4 жанғыш газ сенсорын аламыз (ең алдымен метан). Қысқасы, сенсордың сезімтал элементі химиялық қасиеттеріне байланысты әртүрлі газ концентрациясында кедергісін өзгертеді және

кернеуді бөлгіш резистордың рөлін атқарады, одан біз АЦТ арқылы кернеу мәнін аламыз. Бұл қасиеттер элементтің белгілі бір температурасында пайда болады, ол үшін сенсорды қыздыру керек.



2.5-сурет – MQ датчигінің сұлбасы

Жоғары - датчиктің сұлбалық көрінісі мен кернеу бөлгіш схемасы берілген. Мұнда Н - қыздыру спиралі (33 Ом, шамамен 150 мА ток өтеді; бұл ток мөлшері микроконтроллермен жасалатын қарапайым құрылғылар үшін біраз жоғары, сондықтан қорек көзінің схемасын жобалағанда міндетті түрде ескеру қажет). АВ - газ концентрациясына байланысты кедергісі өзгеріп тұратын сезгіш элементтің шығу ұштары. RL - бөлгіштегі екінші резистор, оның ұсынылған мәні даташит бойынша 20 кОм.

Hanwei деректер парағы $V_c = 5$ вольттың нақты мәнін көрсетеді, ал Winsen деректер парағы $V_c < 24$ вольтты көрсетеді. Менің ойымша, 3,3 вольт мәні қолайлы және сезімтал элементтің кедергісіне әсер етпейді, біз оны әрі қарай есептеулерде жай ғана ескереміз. Бірақ сенсорды қыздыру үшін кернеу дәл 5 вольт болуы керек.

АЦП мәндерін ppm-ге түрлендіру

Бөлгіштің шығысындағы кернеу мәнін (U_{adc}) АЦП арқылы өлшейміз. Осы кернеу арқылы біз датчиктің ішкі кедергісін - R_s мәнін есептей аламыз (екінші резистор - R_L мәні белгілі болған жағдайда). Яғни, датчик нақты қандай ақпарат беріп тұрғанын анықтай аламыз:

$$R_s = \frac{V_{ref} \times R_L}{U_{adc}} - R_L$$

R_s мәні белгілі болған кезде, біз газдың концентрациясын даташиттегі график арқылы анықтай аламыз. Бұл үшін R_s/R_o қатынасы пайдаланылады.

Мұндағы R_o - датчик элементінің кедергісі, ол анықталатын газдың концентрациясы 1000 ppm болған кездегі мән.

Осы кезеңде бізде АЦП мен формула арқылы алынған R_s - яғни, датчиктің ағымдағы кедергі мәні бар. Бұл мәннен бастап, әрі қарай есептеулер жүргіземіз.

Біз R_s -ті таза ауада (яғни, анықталатын газдар жоқ кезде), калибрлеу температурасы мен ылғалдылығы жағдайында өлшедік деп есептейміз (даташит бойынша бұл - 20°C температура және 65% салыстырмалы ылғалдылық). Осылайша, MQ-4 датчигі үшін R_o - анықтамалық мәні ретінде келесі жолмен есептеледі: $R_o = R_s/4.4$ (таза ауада өлшенген).

Яғни, калибрлеу кезінде алынған R_s мәні - датчик үшін бастапқы эталон мәні (R_o) болып есептеледі. Кейінгі барлық өлшеулер осы R_o -мен салыстырылып, газ концентрациясы R_s/R_o қатынасы арқылы анықталады.

Газдың нақты концентрациясын есептеу біршама күрделі болады, себебі даташиттегі график қисық сызықты және оның бойында анық, нақты көрсетілген бақылау нүктелері жоқ - сондықтан графикті дәл түзету қиын. Сонымен қатар, графиктің сурет сапасы төмен, кескін рұқсаты нашар болғандықтан, кейбір нүктелерді пиксель бойынша қолмен анықтауға тура келеді. Есептеуді нақтылау үшін, графиктен ең көрнекі мәндер алынып, координаталық торға орналастырылды. Осы бақылау нүктелеріне сүйене отырып, ppm мен R_s/R_o арасындағы тәуелділік функциясы анықталды.

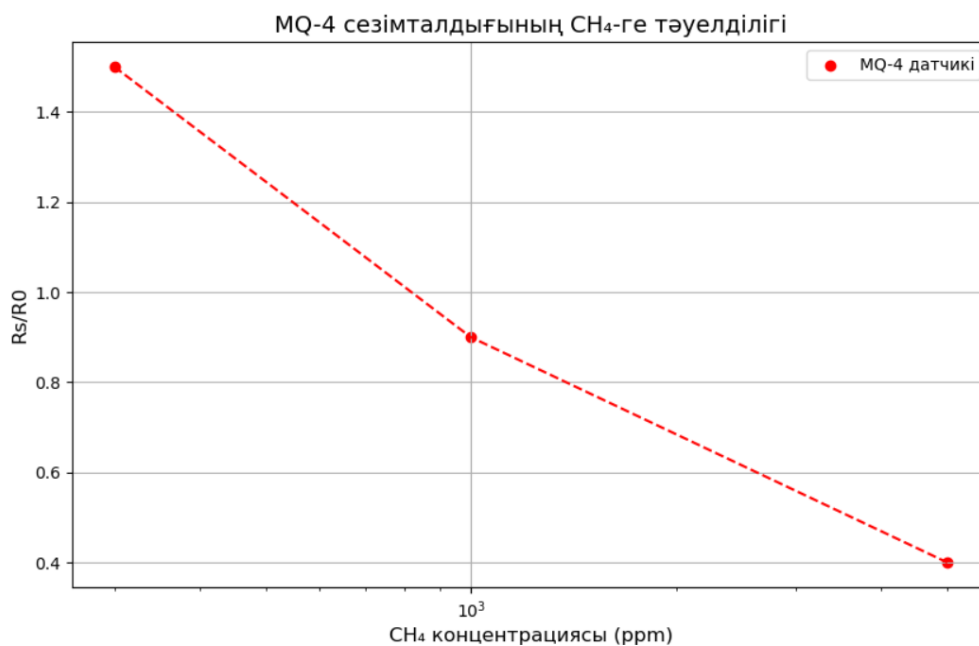
Графиктің жұмысы датчиктің сезімталдық шегіне байланысты 400-ден 10 000 ppm аралығында шектелген. Өртүрлі өндірушілердің (мысалы, Winsen және Hanwei) даташиттерінде анықталатын газ концентрациясының басталатын мәні әртүрлі - кейбіреулерінде 200 ppm, ал кейбіреулерінде 400 ppm деп көрсетілген. Бірақ нақты әрі сенімді есептеу үшін, төменгі шек ретінде 400 ppm алынған - яғни, дәл осы мәннен бастап датчиктің көрсеткіштеріне сенуге болады [1] .

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np

# Деректер
ch4 = np.array([300, 1000, 5000]) # CH4 концентрациясы (ppm)
rs_ro = np.array([1.5, 0.9, 0.4]) # Rs/R0 қатынасы

# График
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(ch4, rs_ro, color='red', label='MQ-4 датчикі')
plt.plot(ch4, rs_ro, 'r--')
plt.xscale('log') # Логарифмдік ось
plt.xlabel('CH4 концентрациясы (ppm)', fontsize=12)
plt.ylabel('Rs/R0', fontsize=12)
plt.title('MQ-4 сезімталдығының CH4-ге тәуелділігі', fontsize=14)
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()
```

2.6-сурет – MQ-4 үшін CH₄ тәуелділік графигін тұрғызу

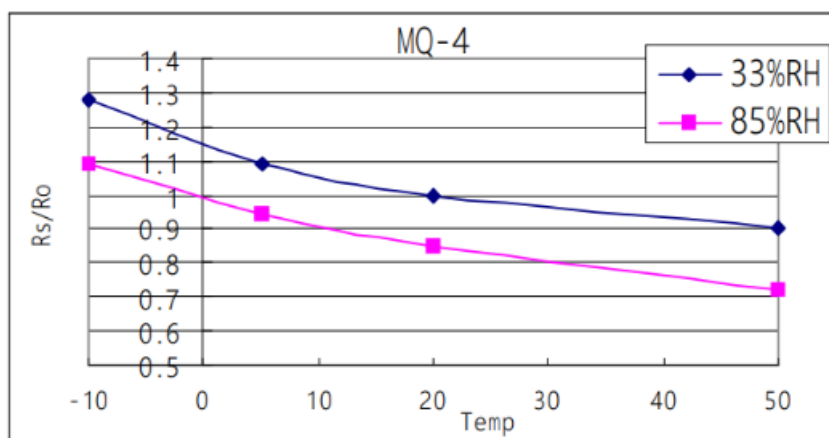


2.7-сурет – MQ-4 датчигінің метанға тәуелділік графигі

График бойынша байқағанымыздай CH₄ концентрациясы артқан сайын Rs/R0 мәні азаяды. Бұл газ концентрациясы мен датчик кедергісі (Rs) арасында кері байланыс бар екенін көрсетеді. MQ-4 датчигі CH₄-ге жоғары сезімталдық танытады, әсіресе 300–5000 ppm аралығында. Графикта X осі (CH₄ концентрациясы) үшін логарифмдік шкала қолданылған, бұл кең концентрация диапазонында тәуелділікті анық көрсетуге мүмкіндік береді. Сызықтық тренд сызықшамен көрсетілген, ол газ концентрациясы өскен сайын Rs/R0-дің тұрақты төмендеуін растайды [1].

Қорытындылай келе MQ-4 датчигі метан (CH₄) концентрациясын 300–5000 ppm аралығында дәл анықтай алады. Алынған деректер газды бақылау жүйелерінде датчикті калибрлеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

Температуралық компенсация туралы қысқаша:



2.8-сурет – MQ-4 датчигінің температураға тәуелділік графигі

Жоғарыдағы графикке сәйкес (MQ-4 даташитінен алынған), датчиктің көрсеткіштері жұмыс істеп тұрған ортаға - яғни температура мен ылғалдылыққа - тікелей тәуелді. Бұл дегеніміз R_s/R_o қатынасы ортадағы температура мен ылғалдылық өзгерсе, нақты газ концентрациясынан ауытқуы мүмкін. Мысалы, егер ылғалдылық 33% болса (көк қисық), R_s/R_o мәні 1.35-ке дейін жетеді, ал 85% ылғалдылықта (қызыл қисық) бұл мән 0.8-ге дейін төмендейді.

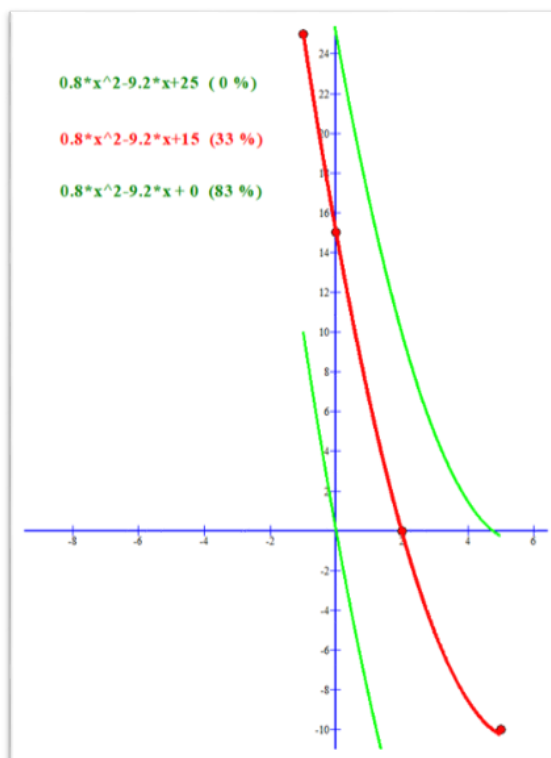
Даташитке сәйкес, құрылғы жұмыс істейтін ортаның типтік ылғалдылығы – 65%. Алайда, мәселе мынада: R_s/R_o – ppm графигінде қолданылған ылғалдылық пен R_s/R_o – температура графигіндегі ылғалдылықтың сәйкес келмеуі алаңдатады.

Атап айтқанда:

– ppm=1000 кезінде $R_s/R_o = 1$ деп алынған мән 20°C температурада көрсетілген,

– Бірақ бұл мән екі түрлі жағдайда көрсетіледі: бірінде ылғалдылық 33%, екіншісінде 65%.

Бұл – едәуір үлкен айырмашылық. Мүмкін, температуралық компенсацияға арналған график эксперименттік жолмен, тек 33% ылғалдылықта алынған. Сондықтан, егер біз газ концентрациясын нақты өлшеуді немесе калибровканы дәл жасағымыз келсе, бұл айырмашылықты есепке алуымыз қажет. Яғни, түзетулер енгізгенде ылғалдылық мәнінің қай графикке қатысты екенін нақты түсініп, соған сәйкес калибрлеу жүргізу керек.



2.9-сурет – MQ-4 датчигінің ылғалдылық графигі

Мына формулаға сәйкес график берілген:

$$f(x)=0,83x^2-9,2x+25-(0,3\times\text{ЫЛҒАЛДЫҚ})$$

Негізі 33% ылғалдықтағы график алынды (сол график, кескінің 1 нүктесінде қиылысып тұрғаны бойынша, калибрлеу графигі болып табылады). Егер ылғалдыққа назар аударсақ, әрбір 1% ылғалдық графикті Y бойынша 0,3-ке ығыстырады (шын мәніндегі RsRo түзетулері 100-ге бөлінеді, ал графикте бұл коэффициент көрнекілік үшін қолданылған). "+25" Y осі бойынша "нөлдік" ылғалдықтағы графиктің орнын көрсетеді, ал "0,3 × ЫЛҒАЛДЫҚ" графиктің ағымдағы ылғалдыққа сай орнын қайтарады. Кейінгі температураларда 1% ылғалдықтың әсері аз болғандықтан ескерілмейді.

Маңызды ескерту: бұл барлық түзетулер калибрлеу таза ауада, 33% ылғалдық пен 20 градус температурада жүргізілген жағдайда ғана қолданылады.

RsRo(error) түзету мәнін, яғни ортаға әсерін өтеу үшін қосатын түзетуді, келесі формула арқылы есептеуге болады:

$$RsRo_{\text{error}} = \frac{\left(0,83 \times \left(\frac{TEMP}{10} \right)^2 - 9,2 \times \left(\frac{TEMP}{10} \right) + 25 - (0,3 \times HUM) \right)}{100}$$

Біз датчикті өз ортамызда калибрлейтін болсақ, ол даташиттегі талаптарға (20°C / 33% ылғалдық) сәйкес келмеуі мүмкін. Сондықтан орта жағдайының әсерін өтеу үшін RsRo(error) анықтау функциясына келесі түзетуді қосуға болады:

$$RsRo_{\text{error}} = \frac{\left(0,83 \times \left(\frac{TEMP + (20 - TEMP_{cal})}{10} \right)^2 - 9,2 \times \left(\frac{TEMP + (20 - TEMP_{cal})}{10} \right) + 25 - (0,3 \times HUM) + (0,3(HUM_{cal} - 33)) \right)}{100}$$

Бұл жағдайда график Y осі бойынша калибрлеу кезінде ылғалдықтың айырмашылығына байланысты ығысады - мұнда бәрі қарапайым. Ал X осі бойынша ығысудың жағдайы сәл күрделірек: қарапайым жылжыту қисықтыққа қате береді. Егер калибрлеу шектегі температураларда емес, бөлме температурасына жақын мәндерде жүргізілсе, бұл қате аса маңызды болмайды.

Нақты тәуелділікке келетін болсақ, датчиктің әртүрлі жағдайларда жүргізілген сынақтары көрсеткендей, оның кедергісі шынымен де температураға байланысты айқын өзгереді, ал ылғалдық кейбір жағдайларда мүлде әсер етпеген. Датчиктің дәлдігі мен бағасын ескерсек, бұл түзету блогы артық болып табылады.

Енді компенсацияланған мәнді есептеу үшін:

$$RsRo_{comp} = RsRo - RsRo_{error}$$

Газ қоспаларын анықтау әдістері

Өнеркәсіптік және тұрмыстық ортада көмірсутекті газдар көбінесе таза күйде емес, қоспа күйінде кездеседі. Мысалы, табиғи газдың құрамында негізінен метан (CH_4) болады, алайда пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}) және басқа да ауыр көмірсутектер де кездеседі. Мұндай жағдайда бір компонентке сезімтал классикалық сенсорлар нақты нәтиже бере алмайды. Сондықтан газ қоспаларын дәл және сенімді анықтау - газ талдау жүйелерінің маңызды міндеттерінің бірі.

Газ қоспаларын анықтаудың қиындықтары

Бір газға арналған сенсорлар (мысалы, MQ сериясы) көбінесе бірнеше газға бірдей жауап береді. Бұл құбылыс кросс-сезімталдық (қисық сезімталдық) деп аталады [5]. Мысалы, MQ-4 сенсоры метанға сезімтал болғанымен, пропан мен бутан да оның сигналын қоздырады. Бұл жағдайда сенсор сигналы нақты қай газдың әсерінен өзгергенін ажырату мүмкін емес.

2.6 Машиналық оқыту арқылы иіс классификациясы

Машиналық оқыту (МО) – бұл жасанды интеллекттің (АІ) маңызды саласы болып табылады. Ол компьютерлік жүйелерге арнайы бағдарламаланбай-ақ тәжірибе арқылы үйренуге және шешім қабылдауға мүмкіндік береді [14]. Бұл әдіс деректерге сүйеніп, заңдылықтарды анықтайды және осы заңдылықтарға негізделген болжамдар жасайды. Машиналық оқыту көмірсутек газы сияқты күрделі жүйелердің әсерін модельдеуге, классификациялауға және болжауға үлкен мүмкіндік береді.

Машиналық оқытудың негізгі үш түрі бар:

Бақыланатын оқыту (Supervised Learning): Бұл әдісте модель алдын ала белгіленген мәліметтермен оқытылады, яғни әрбір енгізу үлгісіне тиісті нәтижесі (жапсырым – label) бар [9]. Мақсат – болашақта белгісіз енгізулерге дұрыс жапсырым (нәтиже) болжау. Мысалы: егер датчиктен алынған мәндерге сәйкес газдың иіс түрлері (метан, пропан, бутан т.б.) белгіленсе, модель осы мәліметтер арқылы үйренеді.

Кеңінен қолданылатын алгоритмдер:

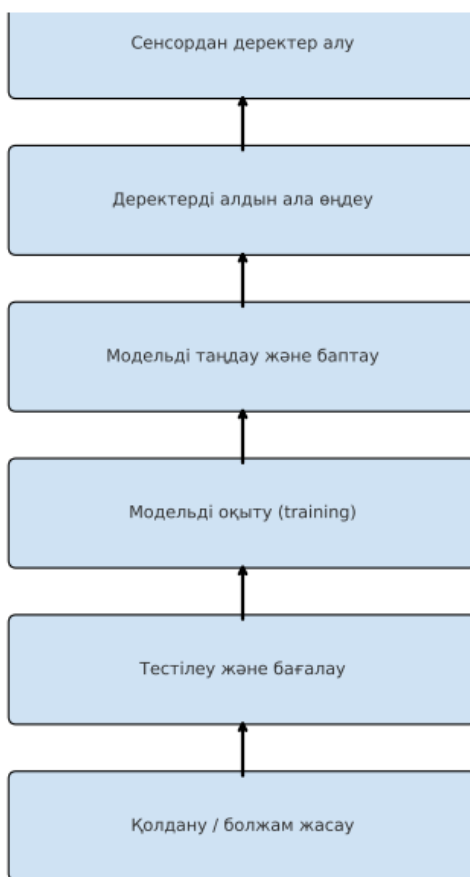
- К-ближайших соседей (KNN)
- Логистикалық регрессия (Logistic Regression)
- Таңбалы ағаштар (Decision Tree)
- Жасанды нейрондық желілер (Artificial Neural Networks)
- Қолдау векторлық машинасы (SVM – Support Vector Machine)

Бақыланбаған оқыту (Unsupervised Learning): Бұл әдісте деректер белгісіз, яғни жапсырымдар жоқ. Модель өз бетінше деректердің ішкі құрылымын (кластер, байланыс) табады. Мысалы: газ иісінің белгісіз үлгілерін топтарға бөлуді жүзеге асыру.

Кеңінен қолданылатын алгоритмдер:

- K-means кластеризациясы
- Иерархиялық кластеризация
- Principal Component Analysis (PCA)

Күшейтілген оқыту (Reinforcement Learning): Бұл әдіс агенттің (бағдарламаның) ортаны зерттеп, әрекеттер жасау арқылы марапат (reward) алуын көздейді. Әдетте басқару, ойындар немесе автономды жүйелерде қолданылады.



2.10-сурет – Машиналық оқыту процесінің кезеңдері

Әрбір қадам өзара байланысты. Деректердің сапасы мен өңдеу әдістері модельдің жұмыс сапасына тікелей әсер етеді. Модель таңдау – алгоритмді нақты тапсырмаға сәйкестендіру кезеңі.

Оқыту мен тестілеу процесі

Машиналық оқыту моделінің тиімділігін арттыру үшін деректер жиынтығы екі негізгі бөлікке бөлінеді: *оқыту (training)* және *тестілеу (testing)*

жиынтығы. Бұл бөлу модельдің жаңа, бұрын көрмеген деректерге қаншалықты дұрыс жауап бере алатынын бағалауға

Оқыту мен тестілеу үшін ең жиі қолданылатын тәсілдердің бірі - рандомды бөлу (random split) [9]. Мысалы, жалпы деректердің: 70–80% - модельді оқытуға (training set), 20–30% - модельді тексеруге (test set) деп бөлінеді.

Мысал: 1000 иіс үлгісі бар болса, оның 800-і оқытуға, 200-і тестілеуге қолданылады.

Оқыту кезеңі (Training phase) модель белгіленген деректер арқылы үлгілер мен заңдылықтарды үйренеді. Мысалы, көмірсутек газының белгілі концентрациясына сәйкес датчиктен түсетін сигналдар арасындағы байланыс анықталады. Қолданылатын әдістер: Функцияны минимизациялау (мысалы, шығын функциясы), Қадамдық градиент (gradient descent), Артық сәйкестенуді болдырмау (регуляризация)

Тестілеу кезеңі (Testing phase) модель жаңа (оқытылмаған) деректерге дұрыс жауап беру қабілетін көрсетеді. Ол нақты ортада қалай жұмыс істейтінін бағалауға мүмкіндік береді. Бағалау метрикалары: Accuracy (дәлдік) – дұрыс классификацияланған үлгілердің үлесі, Precision / Recall / F1-score – әрбір класс бойынша тереңірек талдау, Confusion matrix – нақты және болжанған мәндердің салыстыру матрицасы.

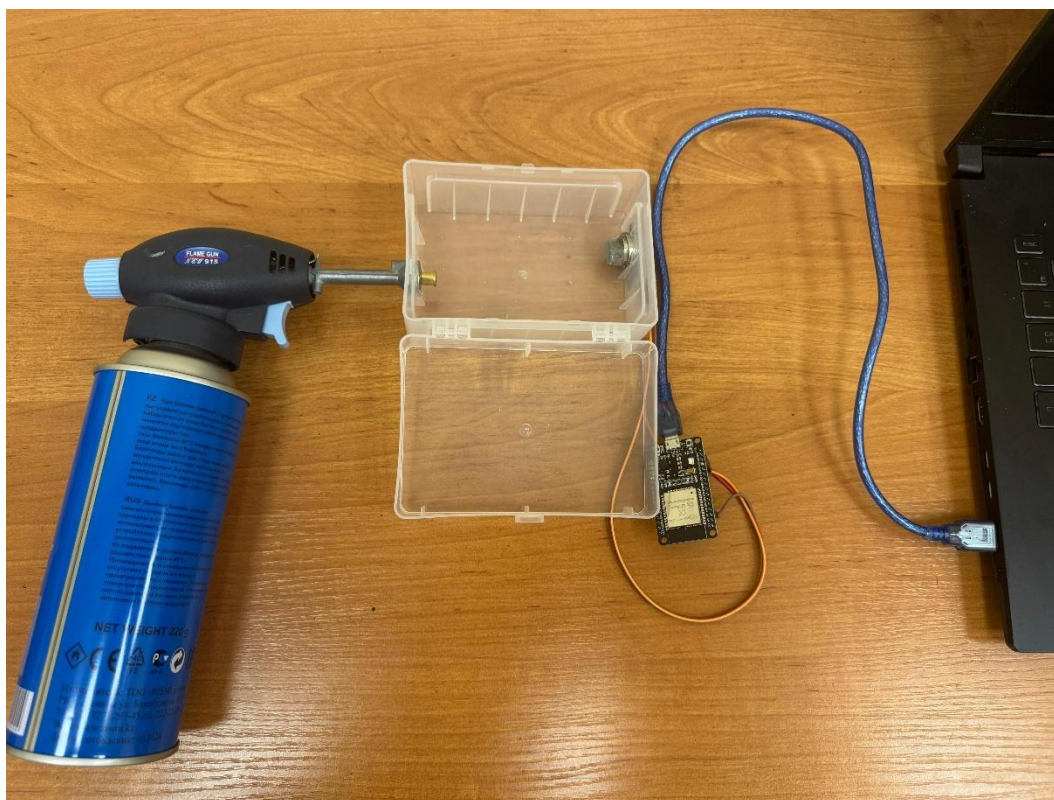
3 Тәжірибелік зерттеулер және нәтижелерді талдау

3.1 Эксперименттік орнату және сынау шарттары

Эксперименттік зерттеу барысында көмірсутек газдарының (бутан, метан) иісін анықтау үшін арнайы стенд жасақталды. Зерттеудің мақсаты - MQ-4 жартылай өткізгіш сенсорының көмегімен ауадағы көмірсутек концентрациясын өлшеу және оның сенсорлық реакциясын сипаттау.

Тәжірибелік қондырғы герметикалық пластик қорапша түрінде орындалды, оған бір жағынан бутан газы енгізілді, ал екінші жағында газ сезгіш сенсор (MQ-4) орналастырылды. Сенсордың көрсеткіштері ESP32 микроконтроллері арқылы USB-интерфейсімен компьютерге жіберіліп отырды.

MQ-4 сенсоры газдың көлемдік концентрациясын анықтау үшін жұмыс істейтін жартылай өткізгіш құрылғы болып табылады. Сенсордың негізгі жұмыс істеу принципі – SnO_2 (қалайы диоксиді) қабатының газбен әрекеттесуіне байланысты ішкі кедергінің өзгеруіне негізделген. Газ молекулалары сенсор бетімен әрекеттескенде электрондар алмасуы жүреді, бұл электр өткізгіштікке әсер етеді.



3-сурет – Зерттеу ортасы

Осы бойынша алынған сенсордан аналогтық мәліметтерді оқып, оны **ppm** (бөлшектер саны) мәніне түрлендіреміз. Түрлендіру бізде Arduino IDE

бағдарламасында жүзеге асады. Алынған мәліметтерді EXCEL-де жинақтаймыз. Бұл жинақталған мәліметтер бойынша газдардың уақыт бойынша тәуелділік графигін Python-бағдарламасында қолданамыз.

```

1  const int mqPin = 34;
2  const float RL = 10.0;
3  float R0 = 4.4;
4  const float a = -0.38;
5  const float b = 1.77;
6
7  void setup() {
8      Serial.begin(115200);
9      delay(1000);
10 }
11
12 void loop() {
13     int adcValue = analogRead(mqPin);
14     float voltage = adcValue * (3.3 / 4095.0);
15     float RS = (3.3 - voltage) * RL / voltage;
16     float ratio = RS / R0;
17     float logPPM = a * log10(ratio) + b;
18     float ppm = pow(10, logPPM);
19     Serial.println(ppm, 2);
20     delay(2000);
21 }
22

```

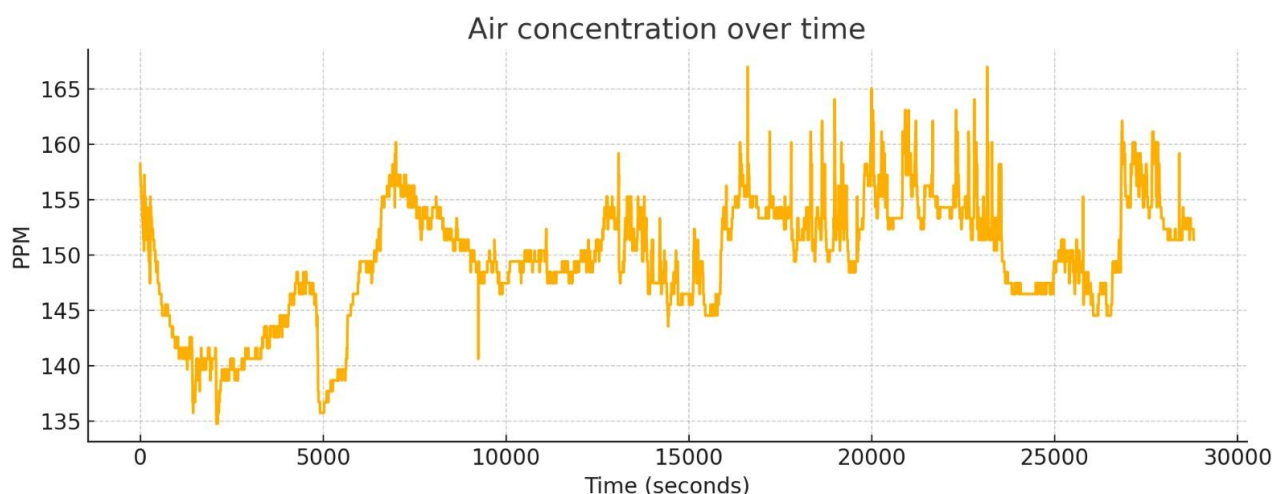
3.1 - сурет – Түрлендіру коды

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Reading, Gas								
2	342.77, Methane								
3	341.8, Methane								
4	340.82, Methane								
5	340.82, Methane								
6	337.89, Methane								
7	336.91, Methane								
8	336.91, Methane								
9	336.91, Methane								
10	335.94, Methane								
11	334.96, Methane								
12	334.96, Methane								
13	333.98, Methane								
14	333.01, Methane								
15	332.03, Methane								
16	331.05, Methane								
17	330.08, Methane								
18	329.1, Methane								
19	328.13, Methane								
20	328.13, Methane								
21	327.15, Methane								
22	326.17, Methane								
23	325.2, Methane								
24	324.22, Methane								
25	324.22, Methane								
26	323.24, Methane								
27	322.27, Methane								
28	323.24, Methane								

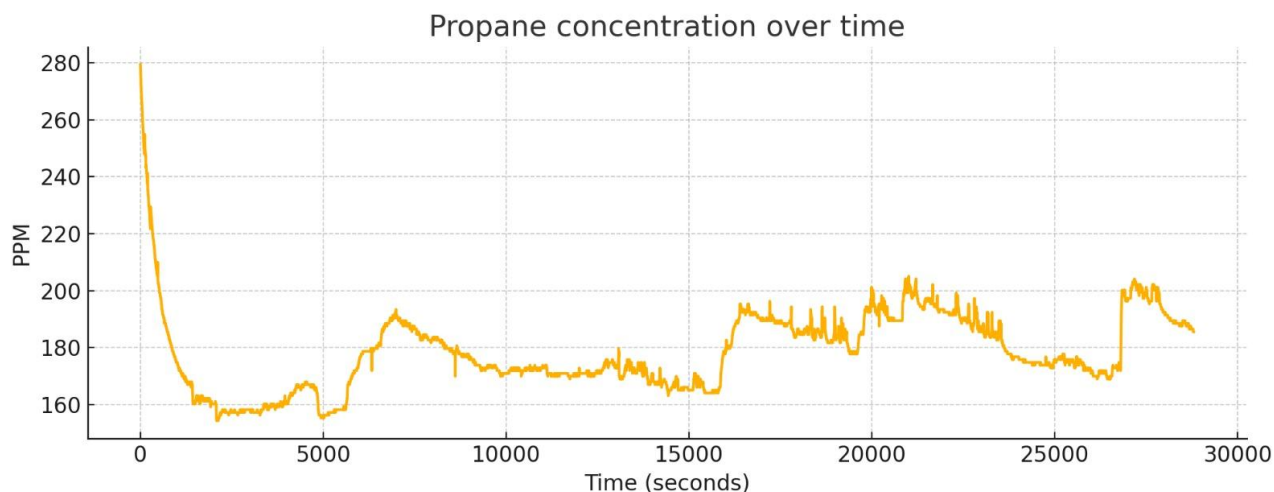
3.2 - сурет – Алынған деректер жиынтығы

3.2 Нақты газ үлгілерін анықтау нәтижелері

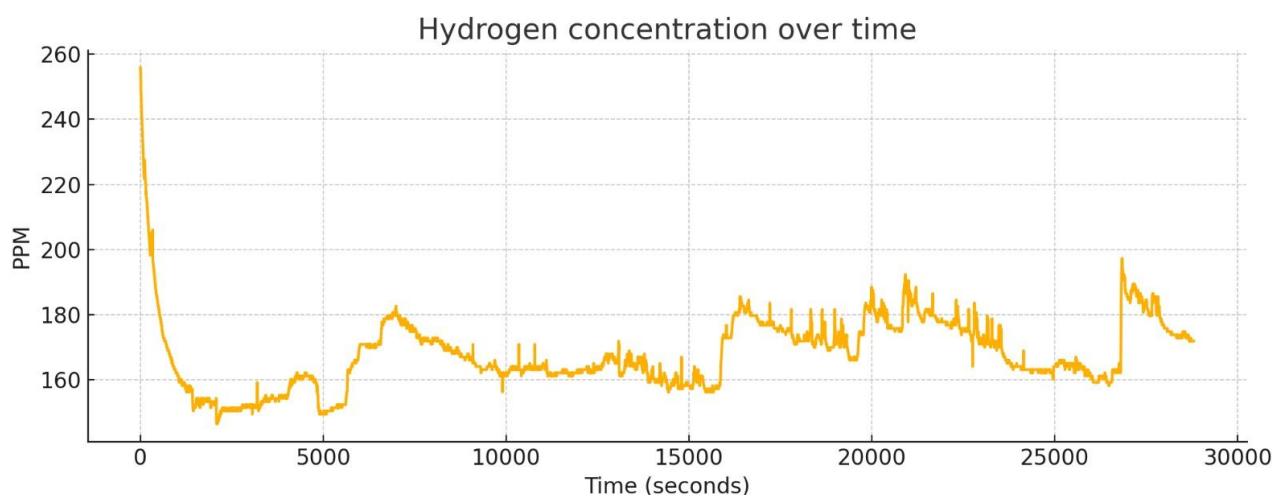
Осы жұмыс аясында машиналық оқыту алгоритмдерін қолдануға арналған эксперименттік деректердің алдын ала өңдеуі мен дайындығын жүргіздік. Бастапқы деректер әртүрлі газдардың (метан, сутек, пропан, сондай-ақ ауа сапасының көрсеткіші) концентрацияларын өлшейтін газ сенсорлары жиынтығы арқылы алынды. 20000-нан астам деректер алынып, газдардың уақыт бойынша тәуелділік графигі тұрғызамыз.



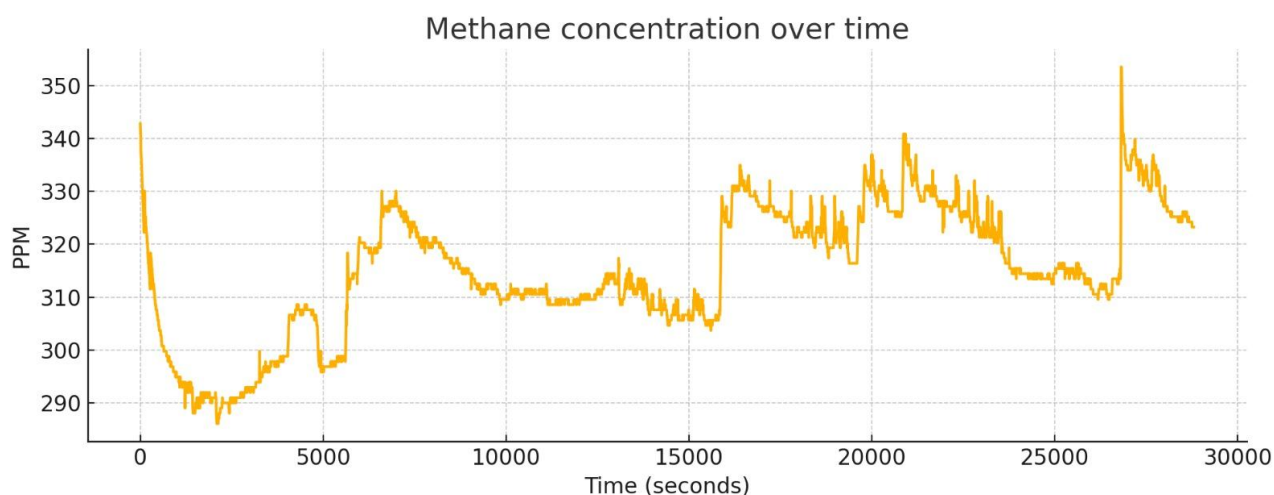
3.3-сурет – Уақыт бойынша ауа концентрациясының өзгерісі



3.4-сурет – Уақыт бойынша пропан концентрациясының өзгерісі



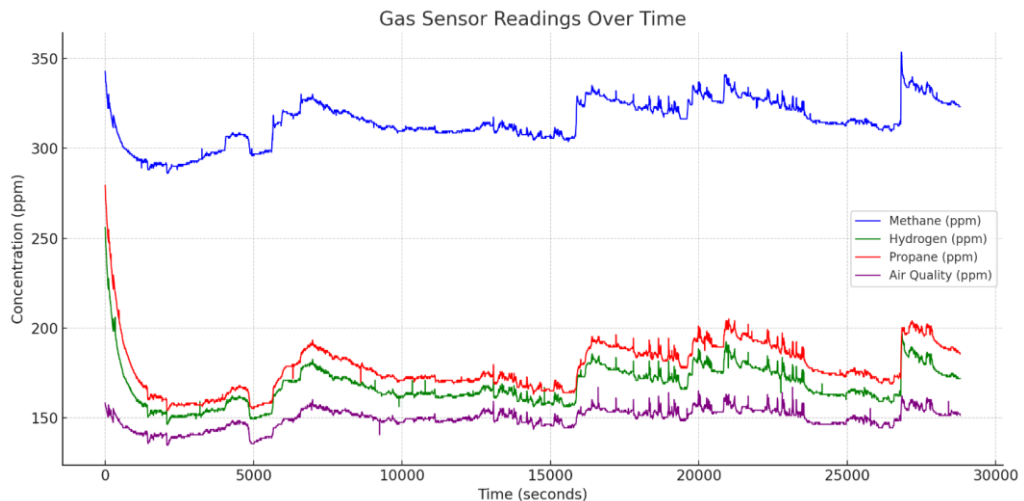
3.5 - сурет – Уақыт бойынша сутегі концентрациясының өзгерісі



3.6 - сурет – Уақыт бойынша метан концентрациясының өзгерісі

Жүргізілген эксперимент нәтижелері сенсорлық жүйенің көмірсутек газдарын уақыт бойынша нақты анықтай алатынын көрсетті. Әр газдың таралу және тұрақтану сипаты сенсордың сезімталдығына әсер етеді. Бұл графиктер сенсор сипаттамаларын тәжірибе арқылы бағалауға мүмкіндік береді. Графиктен сенсордың газдарға тез жауап қайтара алатынын, әрі олардың қалпына келу уақыты да әртүрлі екенін байқауға болады.

3.3 Талдау мен машиналық оқытуға арналған деректерді дайындау



3.7-сурет – газдардың уақыт бойынша тәуелділігі

Деректерді дайындау кезеңі келесі қадамдарды қамтыды:

а) Белгілерді іріктеу және тазалау

Бастапқы деректер жиынтығында бірнеше газдың концентрациясы қамтылды. Зерттеу мақсатына сәйкес метан, сутек, пропан концентрациялары мен ауаның жалпы сапа көрсеткіші сияқты ең маңызды белгілер таңдалып алынды. Нақты орындалуына әсер етпейтін артық бағандар деректер жиынтығынан алынып тасталды.

б) Деректерді нормализациялау

Машиналық оқыту модельдерінің оқыту сапасын арттыру және дәлдігін жақсарту мақсатында деректерді стандарттау (Z-score әдісімен нормализациялау) жүргізілді [9].

Қолданылған формула келесідей:

$$X_{scalecd} = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

мұндағы: $X_{scalecd}$ – белгінің стандартталған мәні; X – белгінің бастапқы мәні; μ – белгінің арифметикалық орташа мәні; σ – белгінің стандартты ауытқуы.

Бұл код машинада оқыту тапсырмалары үшін деректерді алдын ала өңдеуді орындайды. Оның негізгі мақсаты – үлгіде пайдалану үшін бастапқы деректерді (мысалы, CSV файлынан немесе дерекқордан) дайындау.


```
# 2. Предобработка данных =====
def preprocess_data(df):
    X = df[['Reading']].values
    y = df['Gas'].values
    label_encoder = LabelEncoder()
    y_encoded = label_encoder.fit_transform(y)
    scaler = StandardScaler()
    X_scaled = scaler.fit_transform(X)
    return X_scaled, y_encoded, label_encoder
```

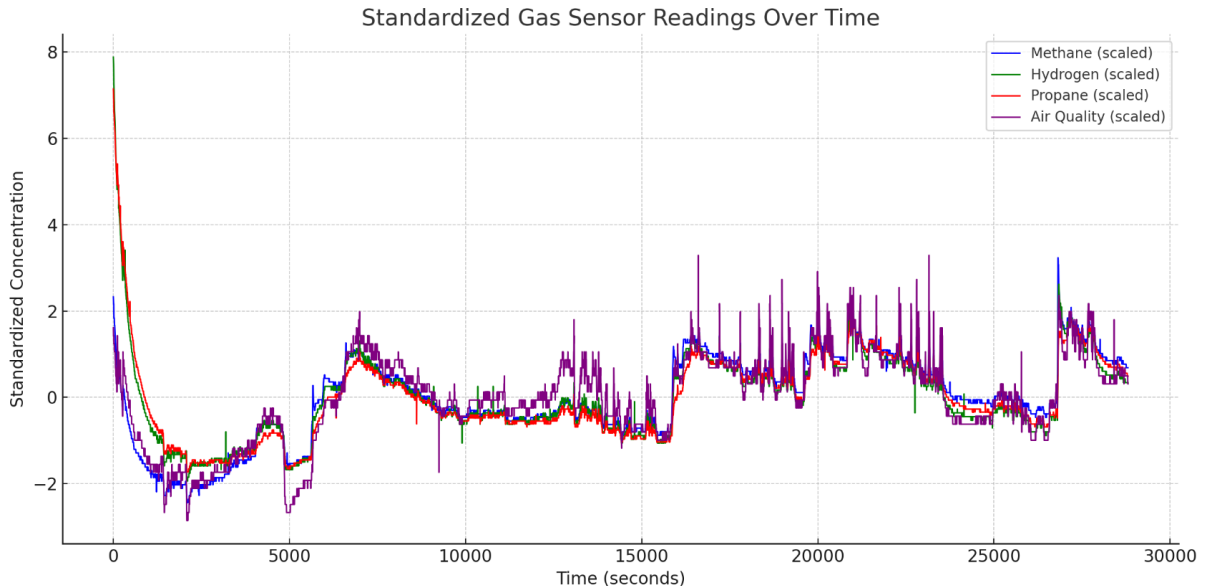
3.8-сурет – деректерді өңдеу

Бұл тәсіл деректерді бірыңғай масштабқа келтіруге мүмкіндік беріп, мәндері үлкен диапазонға ие белгілердің машиналық оқыту алгоритмдерінің жұмысына тигізетін ықпалын болдырмауға септігін тигізді.

с) Деректерді визуализациялау

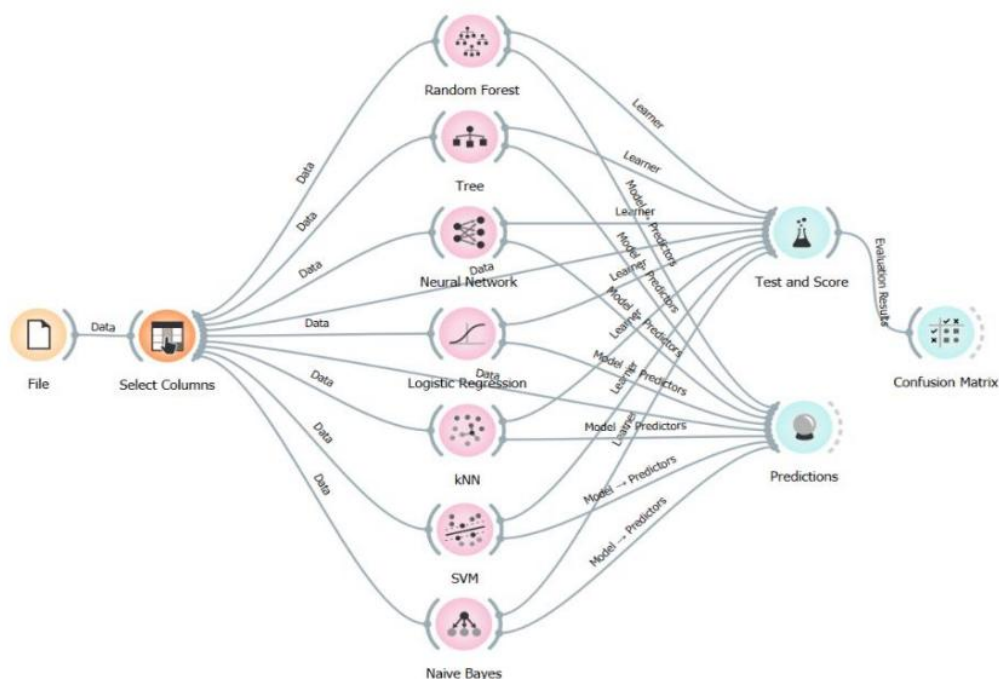
Стандарттау аяқталғаннан кейін таңдалған газдардың концентрацияларының уақыт бойынша өзгерісін көрсететін график тұрғызылды.

Аталған график газ концентрацияларының өлшеу процесінде қалай өзгередінін көрнекі түрде көрсетеді және олардың арасындағы өзара байланыстар мен үрдістерді бағалауға мүмкіндік береді.



3.9-сурет – газдардың деректерді өңдеуден кейінгі уақыт бойынша тәуелділігі

Алынған деректерді машиналық оқыту үшін пайдаланамыз, ол үшін машиналық оқыту модельдерін қарастырамыз.



3.10-сурет – жұмыс барысы

Жұмыс процесін үш бөліктен тұратын деп қарастыруға болады, атап айтқанда: сары бөлік деректерді импорттауға, бос және мақсатты атрибуттарды анықтауға және электрондық кестедегі деректерді көруге арналған деректерді дайындауға арналған бөлік. Содан кейін қызғылт бөлім қолданылатын алгоритмді көрсетеді. Бұл зерттеуде жетекшілік ететін оқыту әдісінде сегіз алгоритм қолданылады. Соңында, жасыл бөлім әрбір алгоритмнен болжам нәтижелерін бағалауға және алуға арналған бөлім болып табылады.

Келесі бізде машиналық үйрену моделдерін оқытуға және салыстырамыз. Негізгі міндеті – деректерді оқыту (train) және тексеру (test) жиындарына бөлу.

Деректерді бөлеміз: Оқыту жиыны (70-80% деректер), Тест жиыны (20-30% деректер). Мысалы, `test_size=0.2` дегеніміз - деректердің 20% тестке, 80% оқытуға жарамды.

```
# 4. Обучение и сравнение моделей =====
def train_and_evaluate(X, y, label_encoder):
    X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size=0.2, stratify=y, random_state=42)
```

3.11-сурет – деректерді бөлу

Нейрондық желі (Neural Network) кодының талдауы : keras/tensorflow көмегімен жасанды нейрондық желіні (Artificial Neural Network) жасауға, оқыту үшін қолданамыз.

```
# Нейронная сеть
print("\n=== Neural Network ===")
nn_model = create_nn_model(X_train.shape[1], len(label_encoder.classes_))
history = nn_model.fit(X_train, y_train, epochs=100, batch_size=32, validation_split=0.2, verbose=0)
nn_pred = np.argmax(nn_model.predict(X_test), axis=1)
nn_acc = accuracy_score(y_test, nn_pred)
nn_f1 = f1_score(y_test, nn_pred, average='weighted')
```

3.12-сурет – машиналық оқыту модельдері

Модельді оқыту (fit әдісі):

epochs=100: Деректер бойынша 100 рет өтеді.

batch_size=32: Бір мезгілде 32 үлгіден оқытады.

validation_split=0.2: Оқытудың 20% тексеру үшін бөлінеді.

Болжам жасау (predict әдісі) және дәлдікті есептеу (accuracy, F1-score).

Осылайша берілген деректер арқылы машиналық оқыту жүргіземіз.

Модель	Точность (Test Accuracy)	F1-оценка
 Gradient Boosting	80.25%	0.799
 Random Forest	80.00%	0.796
 XGBoost	79.99%	0.796
Decision Tree	79.56%	0.793
Neural Network	79.44%	0.792
k-NN	78.19%	0.773
Logistic Regression	77.20%	0.768
SVM	76.62%	0.759

3.13-сурет – Машиналық үйрену модельдерінің өнімділігін салыстыру

Бұл кесте машиналық оқыту алгоритмдерінің жұмыс істеу тиімділігін екі негізгі метрика бойынша салыстырады:

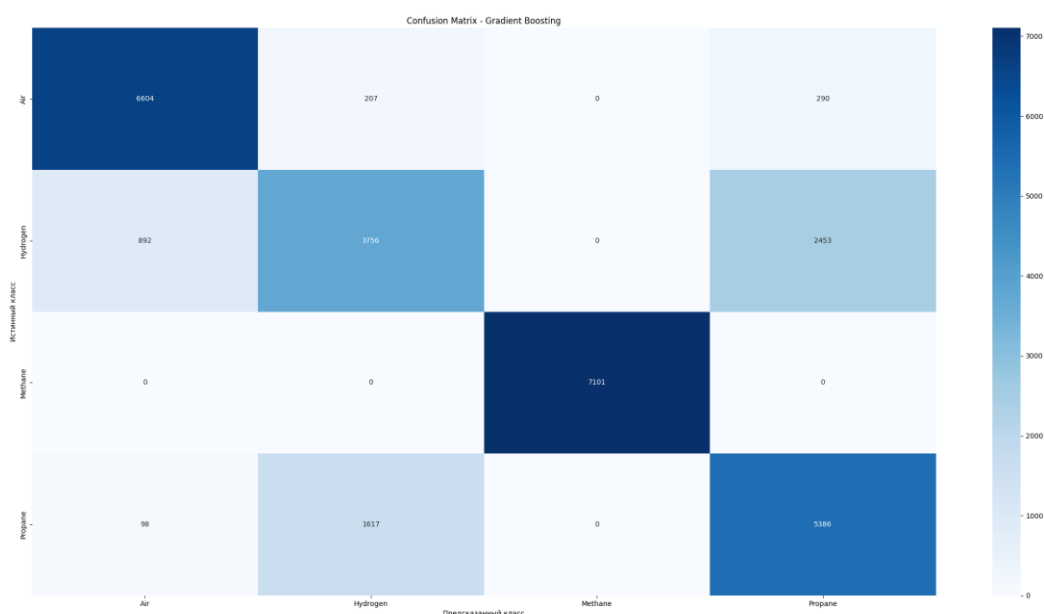
– *Дәлдік (Test Accuracy)* - сынақ деректеріндегі дұрыс болжамдардың пайызы.

– *F1-оценка* - дәлдік (precision) пен толықтықтың (recall) гармоникалық орташа мәні, әсіресе класстар теңсіз болған жағдайда пайдалы.

Байқағанымыздай біз Gradient Boosting моделі 80%-тік дәлділікті көрсетеді. Енді осы әдісті таңдап, сенсорды осы әдіспен оқытамыз.

3.4 Gradient Boosting моделі арқылы машиналық оқыту

Gradient Boosting әдісімен алынған шатастыру матрицасы (confusion matrix) бейнеленген. Бұл матрица модельдің әртүрлі газ түрлерін қаншалықты дұрыс немесе қате жіктегенін көрсетеді. Бұл матрица классификация алгоритмінің нақты және болжаған кластар арасындағы сәйкестігін көрсетеді. Осы зерттеуде Gradient Boosting алгоритмі негізінде алынған шатастыру матрицасы 4 түрлі газ қоспасының: ауа (Air), сутек (Hydrogen), метан (Methane), пропан (Propane) арасындағы ажырату дәлдігін талдауға мүмкіндік береді (3.14-сурет).



3.14 –сурет - Жүйенің жұмыс нәтижесі

Диагональ бойында орналасқан мәндер - жүйенің әрбір газды дұрыс анықтаған жағдайлары. Ал диагональдан тыс мәндер - басқа кластармен шатастырылған жағдайлар. Матрица талдауы келесі нәтижелерді көрсетті:

- Метан (Methane) газы ең жоғары дәлдікпен (7101 дұрыс жіктелу) танылған, бұл сенсор мен модельдің метанды анықтауда өте жоғары сезімталдығын және селективтілігін көрсетеді.
- Ауа (Air) класы да жоғары деңгейде дұрыс жіктелген (6604), дегенмен аздаған мөлшерде сутек (207) және пропан (290) ретінде қате танылған.
- Сутек (Hydrogen) газының анықталуында айтарлықтай шатасу байқалады: 892 рет ауа, 2453 рет пропан ретінде қате жіктелген.

– Пропан (Propane) газы да 1617 рет сутекпен, 98 рет ауамен шатастырылған, дегенмен негізгі бөлігі (5386) дұрыс танылған.

Бұл қателіктердің негізгі себебі - сутек пен пропан газының сенсорлық жауаптарының ұқсастығы болуы мүмкін, әсіресе сезімталдық қисықтарының бір-біріне жақын болу жағдайында. Сонымен қатар, сенсорлардың температуралық немесе ылғалдық шарттарға тәуелділігі де модельдің шатасуына ықпал етуі мүмкін.

Осы талдаудың негізінде, газды тану жүйесінде Gradient Boosting алгоритмі жалпы жоғары тиімділік көрсеткенімен, кейбір газ қоспаларын (әсіресе сутек пен пропанды) ажыратуда қосымша онтайландыруды талап етеді. Мұндай жағдайларда қосымша сенсор түрлерін қолдану, мәліметтерді алдын ала өңдеу әдістерін жақсарту немесе модель гиперпараметрлерін реттеу арқылы жүйенің дәлдігін арттыруға болады.

Осы зерттеу нәтижелері көмірсутек газының иісін анықтауға арналған интеллектуалды сенсорлық жүйелерді әзірлеуге негіз бола алады. Мұндай жүйелер өнеркәсіпте, үй қауіпсіздігінде, экологиялық мониторингте және апаттық жағдайларды болжауда кеңінен қолданылуы мүмкін. MQ-4 сенсорының аналогтық шығыс сигналы сандық мәліметке түрлендіріліп, әртүрлі газдарға қатысты үлгілер алынды. Әрбір газ үшін сенсордан алынған сигнал мәндері белгілі уақыт интервалы ішінде жинақталып, белгіленген (labeled) деректер жиынтығы құрылды. Дайын мәліметтер машиналық оқыту алгоритміне жіктеу үшін енгізілді.

Жіктеу процесінде Gradient Boosting алгоритмі қолданылып, газдың нақты түрін болжауға үйретілді. Нәтиже ретінде алынған шатастыру матрицасы модельдің жұмыс тиімділігін көрсетеді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеу барысында көмірсутекті газдарды анықтаудың физикалық, химиялық және электрондық әдістері қарастырылды. Электрондық әдістер ішінде газ сенсорларын, атап айтқанда MQ сериялы сенсорларды қолдану – қарапайымдылығы мен қолжетімділігі жағынан тиімді шешім екені дәлелденді.

MQ-4 сенсоры негізінде газ концентрациясын анықтаудың техникалық сипаттамалары мен жұмыс істеу принциптері талданды. Сенсордың жауап беру уақыты, сезімталдық диапазоны және температуралық тұрақтылығы бойынша зерттеу жүргізілді.

Зерттеудің маңызды бөлігі ретінде машиналық оқыту әдістерін қолдану арқылы газды тану жүйесінің тиімділігі арттырылды. Бұл үшін алынған мәліметтерді алдын ала өңдеу, сипаттамаларды ерекшелеу және классификациялау кезеңдері қарастырылды. Decision Tree, K-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM) және Random Forest секілді алгоритмдердің нәтижелері салыстырылып, олардың дәлдігі мен сенімділігі бағаланды.

Жұмыстың нәтижесінде, MQ-4 сенсорын қолдана отырып, машиналық оқыту әдістері көмегімен метан сияқты көмірсутек газдарын тиімді анықтауға болатыны дәлелденді. Бұл тәсіл қауіпсіздік жүйелерінде, өнеркәсіпте және қоршаған ортаны бақылауда қолдануға үлкен мүмкіндік береді.

Осы зерттеу газды анықтаудың дәстүрлі тәсілдеріне заманауи технологияларды енгізудің маңыздылығын көрсетіп, болашақта көпсенсорлы жүйелер мен нейрондық желілер негізіндегі интеллектуалды жүйелерді жасауға жол ашады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Туякбаев Алтай, Сүйіндік Жансая. Конструирование устройства для детектирования углеводородных газов // II Международная научно-практическая конференция «Наука. Инновации. Будущее – 2025». – 2025. – С. 22.- – <https://sciencen.org/assets/Kontent/Konferencii/Arhiv-konferencij/KOF-1319.pdf>
2. Тәжібаев, С.Ж. (2019). *Газдар химиясы және талдау әдістері*. – Алматы: Қазақ университеті баспасы.
3. Қалдарбеков, Ж., & Ермағанбетова, С. (2021). *Физикалық-химиялық талдау әдістері*. – Алматы: Білім.
4. Zhang, T. (2012). *Gas sensors based on semiconducting metal oxide one-dimensional nanostructures*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 160(1), 21–39.
5. Korotcenkov, G. (2007). *Metal oxides for solid-state gas sensors: What determines our choice?*. *Materials Science and Engineering: B*, 139(1), 1–23.
6. Han, T., Kim, J., & Lee, I. (2020). *Machine learning-based gas detection using sensor arrays: A review*. *Sensors*, 20(18), 5130.
7. MQ-4 Gas Sensor Datasheet. [Henan Hanwei Electronics Co., Ltd.]
8. Brezmes, J., Llobet, E., & Gardner, J. W. (2003). *Signal processing algorithms for gas sensor arrays*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 93(1–3), 1–10.
9. Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
10. Duda, R. O., Hart, P. E., & Stork, D. G. (2001). *Pattern Classification*. Wiley-Interscience.
11. Тұрсынбеков, Б. Т. (2020). *Газ талдау жүйелерінің негіздері*. Алматы: ҚазҰУ баспасы.
12. Ибрагимов, Р. А. (2019). *Газдарды талдау әдістері мен құралдары*. Мәскеу: Инфра-М.
13. Python Scikit-learn Library Documentation: <https://scikit-learn.org/>
14. Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. McGraw-Hill Education.
15. Henan Hanwei Electronics Co., Ltd. (n.d.). MQ-4 Gas Sensor Datasheet. <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>
16. Gross, J. H. (2011). *Mass Spectrometry: A Textbook* (2nd ed.). Heidelberg: Springer.
17. Сидоров, К. М., Ковалева, Н. П. (2008). *Газовая хроматография в анализе нефти и газа*. Москва: Химия.
18. Соколова, И. Н. (2015). *Химия нефти и газа*. Москва: Недра.
19. Zheng, C., et al. "Gas sensing properties of tin oxide-based sensors for volatile organic compounds." *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 208, 2015, pp. 505–513.

ҚОСЫМША А

```
const int mqPin = 34;
const float RL = 10.0;
float R0 = 4.4;
const float a = -0.38;
const float b = 1.77;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  delay(1000);
}

void loop() {
  int adcValue = analogRead(mqPin);
  float voltage = adcValue * (3.3 / 4095.0);
  float RS = (3.3 - voltage) * RL / voltage;
  float ratio = RS / R0;
  float logPPM = a * log10(ratio) + b;
  float ppm = pow(10, logPPM);
  Serial.println(ppm, 2);
  delay(2000);
}
```

ҚОСЫМША Б

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import warnings

from sklearn.model_selection import train_test_split, GridSearchCV
from sklearn.preprocessing import LabelEncoder, StandardScaler
from sklearn.metrics import classification_report, accuracy_score, f1_score,
confusion_matrix
from sklearn.ensemble import GradientBoostingClassifier
from imblearn.over_sampling import SMOTE

warnings.filterwarnings('ignore')

# Загрузка данных
def load_data(file_path):
    data = pd.read_csv(file_path)
    return data

# Предобработка
def preprocess_data(df):
    X = df[['Reading']].values
    y = df['Gas'].values
    label_encoder = LabelEncoder()
    y_encoded = label_encoder.fit_transform(y)
    scaler = StandardScaler()
    X_scaled = scaler.fit_transform(X)
    return X_scaled, y_encoded, label_encoder

# Настройка через GridSearchCV
def tune_gradient_boosting(X, y):
    param_grid = {
        'n_estimators': [100, 200],
        'learning_rate': [0.01, 0.05],
        'max_depth': [3, 5]
    }

    model = GradientBoostingClassifier()
    grid_search = GridSearchCV(estimator=model, param_grid=param_grid,
                               cv=3, scoring='accuracy', n_jobs=-1, verbose=1)
    grid_search.fit(X, y)

    print("\n🔍 Лучшие параметры:")
    print(grid_search.best_params_)

    print("\n📊 Лучшая точность (CV):")
    print(grid_search.best_score_)
```



```

    return grid_search.best_estimator_

# Построение confusion matrix
def plot_confusion_matrix(cm, classes, title='Confusion Matrix'):
    plt.figure(figsize=(6, 6))
    sns.heatmap(cm, annot=True, fmt='d', cmap='Blues',
                xticklabels=classes, yticklabels=classes)
    plt.title(title)
    plt.ylabel('Истинный класс')
    plt.xlabel('Предсказанный класс')
    plt.tight_layout()
    plt.show()

# Главная функция
def main():
    file_path = r"C:\Users\Tor\Desktop\1.csv" # Укажи путь к своему файлу
    data = load_data(file_path)
    X, y, label_encoder = preprocess_data(data)

    # Разделение и применение SMOTE
    X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, stratify=y,
test_size=0.2, random_state=42)
    smote = SMOTE(random_state=42)
    X_train, y_train = smote.fit_resample(X_train, y_train)

    # GridSearch + Gradient Boosting
    model = tune_gradient_boosting(X_train, y_train)

    # Оценка на тесте
    y_pred = model.predict(X_test)
    acc = accuracy_score(y_test, y_pred)
    f1 = f1_score(y_test, y_pred, average='weighted')

    print("\n📊 Итоговая точность (на тесте):")
    print(f"Accuracy: {acc:.4f}")
    print(f"F1-score: {f1:.4f}")
    print("\n" + classification_report(y_test, y_pred,
target_names=label_encoder.classes_))

    # Confusion Matrix
    cm = confusion_matrix(y_test, y_pred)
    plot_confusion_matrix(cm, label_encoder.classes_, title="Confusion Matrix -
SMOTE + Tuned Gradient Boosting")

# Запуск
if __name__ == '__main__':
    main()

```


**7M07107 – «Робототехника және мехатроника» мамандығының магистранты
Сүйіндік Жансая Кенжебекқызының
магистрлік диссертациясына**

СЫН ПІКІР

Тақырыбы: Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу

Өзірленген:

- а) графикалық бөлімі ____ парақ
б) түсіндірме жазбасы ____ бетте

ЖҰМЫСҚА ЕСКЕРТУ ЖАСАУ

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызының магистрлік диссертациясы «Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу».

Жұмыстың мақсаты — көмірсутек газдарын (метан, этан, пропан және т.б.) тиімді және дәл анықтау мақсатында заманауи сенсорлар мен машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып, газды талдау жүйесін әзірлеу және зерттеу. Бұл мақсат адам өмірі мен өндірістік қауіпсіздікті қамтамасыз ету үшін ерекше маңызға ие.

Бірінші бөлімде көмірсутек газдарының адам өміріне әсері, олардың түрлері, физика-химиялық қасиеттері, иісі мен жарылыс/улану шектері бойынша теориялық негіздеме берілген. Аталған бөлім диссертацияның ғылыми өзектілігін көрсетеді.

Екінші бөлімде газдарды анықтау әдістері және MQ сериялы сенсорлардың сипаттамалары толық зерттелген.

Үшінші бөлімде тәжірибелік қондырғы сипатталып, нақты сынақтар жүргізілген. MQ сенсорларынан алынған деректер негізінде машиналық оқытуға арналған дайындық жұмыстары жүргізіліп, Gradient Boosting моделі арқылы газ түрлерін анықтау тиімділігі бағаланған.

Магистрлік диссертацияда мәтіндік және графикалық материалдардың құрылуына, баяндалуына, ресімделуіне және мазмұнына қойылатын жалпы талаптарға сәйкес ұйым стандарты бойынша жасалған.

ЖҰМЫС БАҒАСЫ

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы «Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу» атты магистрлік диссертациясын жақсы орындалған және құрылғы жақсы жобаланған. Құрылғы барлық талаптарға сай және жұмыс кәсіби деңгейде орындалды диссертацияларға қойылатын барлық талаптарға сәйкес келеді.

Магистрлік диссертация өте жақсы деп бағаланып, магистрант Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы магистр академиялық дәрежесіне лайық деп есептеймін.

Сын пікір беруші

Техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор м.а.

 Жаменкеев Е.К.

«07» 06 2025ж

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРҒЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

«Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» коммерциялық
емес акционерлік қоғамы

7M07107 – «Робототехника және мехатроника» мамандығының магистранты

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызының
магистрлік диссертациялық жұмысына ғылыми жетекшінің

ПІКІРІ

Тақырыбы: Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу

Сүйіндік Жансая Кенжебекқызының магистрлік диссертациялық жұмысының мақсаты көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеуге бағытталған.

Магистранттың бұл диссертациялық жұмысы қазіргі заманғы өндірістік және экологиялық қауіпсіздік талаптарына жауап беретін өзекті мәселені – көмірсутек газдарын (метан, этан, пропан және т.б.) уақтылы анықтау жүйесін жасауды қарастырады. Жұмыстың мақсаты – иіс арқылы көмірсутекті газдарды танытын сенсорлық құрылғы жасау мүмкіндігін зерттеу, сондай-ақ оның сенсорлық және интеллектуалды (машиналық оқыту негізіндегі) бөліктерін талдау.

Бірінші бөлімде көмірсутек газдарының негізгі түрлері, олардың физика-химиялық қасиеттері, иістік ерекшеліктері мен сезімталдық шектері, жарылыс пен улану шектері қарастырылған. Сонымен қатар, газдардың адам денсаулығына әсері мен қауіпсіздік талаптары жүйелі түрде сипатталған. Бұл бөлім тақырыптың ғылыми және әлеуметтік маңыздылығын негіздеп береді.

Екінші бөлімде газдарды анықтауға арналған технологиялар, атап айтқанда физикалық, химиялық және электрондық әдістер талданған. Көмірсутек газдарын анықтауға арналған датчиктердің әртүрлі түрлері мен олардың жұмыс принциптері салыстырылып, нақты назар MQ сериялы сенсорларға аударылған. MQ сенсорларының жұмыс істеу принципі, техникалық сипаттамалары, газ концентрациясына реакциясы, даташитті дұрыс түсіну мен параметрлерді баптау жөнінде терең талдау жасалған.

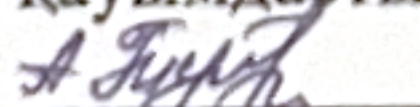
Үшінші бөлімде тәжірибелік зерттеу нәтижелері мен олардың талдауы ұсынылған. Эксперименттік орнату сипатталып, нақты газ үлгілеріне жасалған сынақтар нәтижелері келтірілген. Машиналық оқыту әдістеріне арналған деректерді дайындау, оларды талдау және Gradient Boosting алгоритмі арқылы газ иісін тану процесі кезең-кезеңімен түсіндірілген. Бұл алгоритмнің нәтижелері, оның тиімділігі мен дәлдігі нақты мысалдар арқылы дәлелденген.

Жалпы, диссертациялық жұмыс құрылымдық тұрғыдан жүйелі, ғылыми тұрғыдан терең және тәжірибелік мәні жоғары. Автор өз алдына қойған мақсатқа толықтай жеткен және зерттеу барысында қазіргі заманғы технологиялық тәсілдерді тиімді қолданған. Жұмыста көрініс тапқан талдау мен тұжырымдар болашақта нақты аспап жасауға негіз бола алады.

Жалпы алғанда, диссертациялық жұмыс жоғары бағаға лайық, ал оның авторы Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы «7M07107 - робототехника және мехатроника» білім беру бағдарламасы бойынша техника және технологиялар магистрі академиялық дәрежесін алуға толықтай лайық деп есептеймін.

Ғылыми жетекші:

Техника ғылымының кандидаты,
қауымдастырылған профессор

 Туякбаев А.А.

«11» 06 2025 ж.

Ф КазННТУ 704-21.Отзыв научного руководителя

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу

Научный руководитель: Алтай Туякбаев

Коэффициент Подобия 1: 1.6

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 4

Знаки из других алфавитов: 2

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

☐ Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

☐ Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

☐ Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

☐ Обоснование:

Дата

проверяющий эксперт
Аймухаметов Е.А.

**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Сүйіндік Жансая Кенжебекқызы

Тақырыбы: Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу

Жетекшісі: Алтай Туякбаев

1-ұқсастық коэффициенті (30): 1.6

2-ұқсастық коэффициенті (5): 0

Дәйексөз (35): 0.1

Әріптерді ауыстыру: 2

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 4

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

☐ Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

☐ Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

☐ Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

Кафедра меңгерушісі





Отчет подобия

Метаданные

Название организации

Satbayev University

Название

Көмірсутек газдарының иісін анықтауға арналған аспапты жасау мүмкіндігін зерттеу

Автор

Научный руководитель / Эксперт

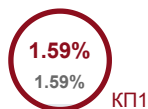
Сүйіндік Жансая КенжебекқызыАльтай Туякбаев

Подразделение

ИАиИТ

Объем найденных подобиий

КП-ия определяют, какой процент текста по отношению к общему объему текста был найден в различных источниках.. Обратите внимание!Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

8478

Количество слов



КЦ

65626

Количество символов

Тревога

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		2
Интервалы		0
Микропробелы		4
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		11

Подобия по списку источников

Ниже представлен список источников. В этом списке представлены источники из различных баз данных. Цвет текста означает в каком источнике он был найден. Эти источники и значения Коэффициента Подобия не отражают прямого плагиата. Необходимо открыть каждый источник и проанализировать содержание и правильность оформления источника.

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	http://engime.org/pars_docs/refs/50/49518/49518.pdf	18 0.21 %
2	https://docplayer.ru/26668552-Morenov-valentin-anatolevich.html	17 0.20 %
3	https://docplayer.ru/26668552-Morenov-valentin-anatolevich.html	17 0.20 %
4	https://nsportal.ru/shkola/khimiya/library/2022/05/25/prezentatsiya-alkany	16 0.19 %

5	https://nsportal.ru/shkola/khimiya/library/2022/05/25/prezentatsiya-alkany	14 0.17 %
6	http://engime.org/pars_docs/refs/50/49518/49518.pdf	10 0.12 %
7	http://engime.org/pars_docs/refs/50/49518/49518.pdf	8 0.09 %
8	https://scholarworks.lib.csusb.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2748&context=etd	7 0.08 %
9	http://engime.org/pars_docs/refs/50/49518/49518.pdf	7 0.08 %
10	https://scholarworks.lib.csusb.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2748&context=etd	6 0.07 %
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из программы обмена базами данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (1.59 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
1	http://engime.org/pars_docs/refs/50/49518/49518.pdf	53 (6) 0.63 %
2	https://docplayer.ru/26668552-Morenov-valentin-anatolevich.html	39 (3) 0.46 %
3	https://nsportal.ru/shkola/khimiya/library/2022/05/25/prezentatsiya-alkany	30 (2) 0.35 %
4	https://scholarworks.lib.csusb.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2748&context=etd	13 (2) 0.15 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНОГО ПАРТНЁРСТВА
«НОВАЯ НАУКА»
член Международной ассоциации издателей научной литературы
«PUBLISHERS INTERNATIONAL LINKING ASSOCIATION»
ИНН 100121743290, ОГРНИП 318100100000595
185002, г. Петрозаводск,
ул. С. Ковалевской, д. 16Б помещ. 35,
тел. 8 (911) 41-07-747,
<https://sciencen.org>, office@sciencen.org

Для предъявления по месту требования.

Серия № КОФ-1319

15 мая 2025 года

СПРАВКА

Настоящим удостоверяется, что исследовательская работа «РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ», авторами которой являются **Туякбаев Алтай** (кандидат технических наук, ассоциированный профессор), **Сүйіндік Жансая** (магистрант, Satbayev University), по результатам рассмотрения и проверки на плагиат принята к участию во II Международной научно-практической конференции «НАУКА. ИННОВАЦИИ. БУДУЩЕЕ - 2025», которая состоялась 15 мая 2025 года в г. Петрозаводске (Российская Федерация). Данная статья опубликована в сборнике материалов указанного мероприятия, который размещен в Научной электронной библиотеке eLIBRARY по договору № 467-03/2018K от 19.03.2018 г. в открытом доступе.

Директор
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»



Ивановская И.И.

СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

Сүйіндік Жансая

магистрант
Satbayev University

принял(а) участие
во II Международной научно-практической конференции

**НАУКА. ИННОВАЦИИ.
БУДУЩЕЕ - 2025**

15 мая 2025 г.
Российская Федерация
г. Петрозаводск

Директор
МЦНП «НОВАЯ НАУКА»
И.И. Ивановская



НОВАЯ НАУКА
Международный центр
научного партнерства

