

<https://doi.org/10.62837/2026.1.183>

ORCID- 0000-0002-3612-377X

**Fəridə Ş.Ağayeva, Rada C.Məmmədova,  
Afət S.Hüseynova, Leyla İ.Quliyeva.**

*Sumqayıt Dövlət Universiteti, Sumqayıt, Azərbaycan*  
[farida.aghayeva@sdu.edu.az](mailto:farida.aghayeva@sdu.edu.az)

## **DÜZ TƏSİRLİ KİMYƏVİ SENSORLARIN TƏTBİQ SAHƏLƏRİ VƏ Matlab PROQRAMI VASİTƏSİLƏ SİMULYASİYASI**

**Açar sözlər:** kimyəvi sensorlar, müqayisə elektrodu, elektron sxem, çıxış siqnalı, gücləndirmə əmsalı.

Elmi tədqiqat işində kimyəvi sensorlar, düz təsirli kimyəvi sensorlar və onların növləri analiz edilir. Kimyəvi sensor- mühitdəki müəyyən kimyəvi maddəni (qaz, ion, molekul və s.) tanıyib elektrik siqnalına çevirən qurğudur. Düz təsirli sensorlar da kimyəvi sensorların bir alt növü olub təsir birbaşa baş verir, daha sürətli və sadədir. Bu sensorlarda – maddənin fiziki-kimyəvi xassəsi birbaşa sensor elementinə təsir göstərir və həmin təsir dərhal elektrik siqnalına çevrilir.

Elektrokimyəvi qaz sensorunun sadələşdirilmiş ekvivalent sxeminin Matlab-da simulyasiyası yerinə yetirilir və nəticənin qrafik təsviri verilir. Qrafik təsvirə əsasən qaz konsentrasiyası artdıqca: sensor cərəyanı xətti artır, ölçmə rezistorunda düşən gərginlik artır və çıxış gərginliyi xətti azalır.

Bu davranış real elektrokimyəvi qaz sensorlarının tipik çıxış xarakteristikasına uyğundur.

**Giriş.** Analitik kimyanın demək olar ki, bütün tarixi boyu onun ən mühüm vəzifələrindən biri maddənin tərkibi ilə asan ölçülə bilən hər hansı bir xüsusiyyət arasındakı əlaqələri müəyyən etmək və aşkar edilmiş qanunauyğunluqlardan, yəni bu əlaqələrdən, konsentrasiyanın təyin olunması üsullarının və müvafiq qurğuların hazırlanması üçün istifadə etmək olmuşdur və indi də belədir. Bu qurğulara analiz olunan nümunəni götürmədən və xüsusi hazırlıq aparmadan, yerləşdirildiyi mühitin (məhlulun) kimyəvi tərkibi haqqında birbaşa məlumat verən detektorlar və ya kimyəvi sensorlar daxildir. “Kimyəvi sensor” termini nisbətən yaxınlarda meydana çıxmışdır. Yanaşı sahələrdə (bərk cisim fizikası, mikroelektronika, mikroprosessor texnikası, materialşünaslıq) əldə olunan nailiyyətlər analitik kimyada yeni bir istiqamətin — kimyəvi sensorların (KS) yaranmasına səbəb olmuşdur.

Kimyəvi sensor- mühitdəki müəyyən kimyəvi maddəni (qaz, ion, molekul və s.) tanıyib elektrik siqnalına çevirən qurğudur. Sensor analizatorları operator müdaxiləsi olmadan, avtonom şəkildə işləyə bilər və onların məlumat toplama və avtomatlaşdırılmış emal sistemləri ilə əlaqədə olması nəzərdə tutulur. KS-lərin və

onların əsasında yaradılmış analizatorların yaşayış mühitinin vəziyyətinə nəzarətdə və insan sağlamlığının qorunmasında rolu olduqca böyükdür.

Düz təsirli sensorlar da kimyəvi sensorların bir alt növü olub təsir birbaşa baş verir, daha sürətli və sadədir. Bu sensorlarda – maddənin fiziki-kimyəvi xassəsi birbaşa sensor elementinə təsir göstərir və həmin təsir dərhal elektrik signalına çevrilir [1].

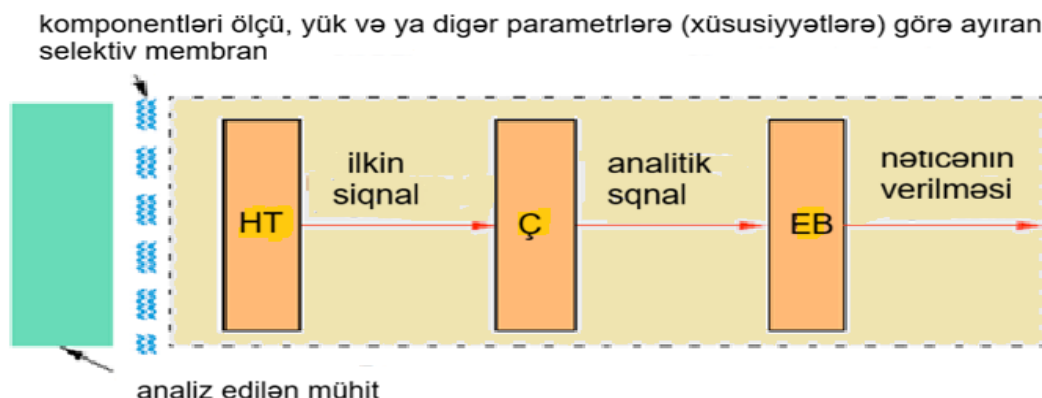
### **1. Kimyəvi sensorların işləmə prinsipləri və strukturu**

KS (kimyəvi sensor) kimyəvi seçiciliyə malik olan və təyin olunan komponentin mövcudluğuna və onun miqdarının dəyişməsinə cavab verən sensorun kimyəvi selektiv qatından, həmçinin fiziki çevricidən (transdüserdən) ibarətdir. Sonuncu, selektiv qatın təyin olunan komponentlə reaksiyası nəticəsində yaranan enerjini elektrik və ya işıq signalına çevirir. Bu signal daha sonra işığa həssas və ya elektron cihaz vasitəsilə ölçülür. Məhz bu signal analitik signal hesab olunur, çünki mühitin (məhlulun) tərkibi haqqında birbaşa məlumat verir.

KS-lər kimyəvi reaksiyalar prinsipi ilə işləyə bilər — bu halda analitik signal təyin olunan komponentin həssas qatla kimyəvi qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranır; və ya fiziki prinsiplər əsasında işləyə bilər — bu zaman fiziki parametrlər (ışığın udulması və ya əks olunması, kütlə, keçiricilik) ölçülür. Birinci halda həssas qat kimyəvi çeviricinin funksiyasını yerinə yetirir. KS-in fəaliyyətinin ümumi sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.

Seçiciliyi artırmaq üçün KS-in giriş qurğusunda (kimyəvi cəhətdən həssas qatın qarşısında) təyin olunan komponentin hissəciklərini selektiv şəkildə buraxan membranlar yerləşdirilə bilər (ionmübadilə, dializ, hidrofob və digər örtüklər). Bu halda təyin olunan maddə yarımkeçirici membran vasitəsilə kimyəvi çeviricinin nazik qatına diffuziya edir və burada komponent üzrə analitik signal formalaşır.

KS-lər əsasında sensor analizatorlar — müəyyən maddənin konsentrasiyasının verilmiş diapazonda təyin olunması üçün nəzərdə tutulmuş cihazlar — hazırlanır. Bu analizatorlar kiçik ölçülərə malik ola bilər (bəzən kalkulyator və ya avtoqələmin ölçüsünə yaxın). Konstruksiyada mexaniki aşınmaya məruz qalan hissələr olmadığından, cihazlar kifayət qədər uzun istismar müddəti ilə (bir il və daha çox) xarakterizə olunur.

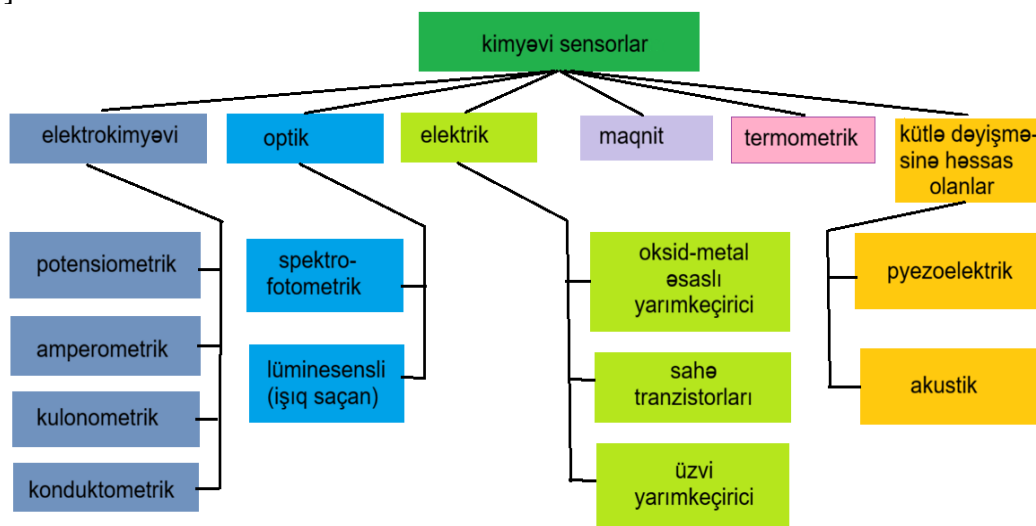


**Şəkil 1.** Kimyəvi sensorun işləmə sxemi: HT- kimyəvi həssas təbəqə, Ç- siqnal çeviricisi, EB – elektron blok.

Batareyaya şəklində birləşdirilib kompüterə qoşulduqda, KS-lər mürəkkəb qarışıqları analiz etməyə və hər bir komponentin tərkibi haqqında diferensial məlumat verməyə qadirdir. Sensor analizatorlarda quraşdırılmış mikrosxemlər temperaturun, rütubətin dəyişməsinə düzəlişlər etməyə, mühitin digər komponentlərinin təsirini nəzərə almağa, həmçinin cihazın şkalasında kalibrəlmə və sıfırlama aparmağa imkan verir [2].

## 2. Kimyəvi sensorların növləri və konstruksiyaları

Həssas qatda KS tərəfindən yaranan ilkin siqnalın xarakterinə uyğun olaraq sensorlar müxtəlif tiplərə bölünür. Şəkil 2-də kimyəvi sensorların təsnifatı verilmişdir [3].



**Şəkil 2.** Kimyəvi sensorların təsnifatı [3].

Hazırda elektrokimyəvi KS-lər, xüsusilə amperometrik və potenshiometrik sensorlar ən geniş yayılmışdır. Bununla belə, tədqiqatçıların və istehsalçıların digər KS növlərinə, o cümlədən optik sensorlara marağı da artmaqda davam edir.

Elektrokimyəvi sensorlarda (EKS) təyin olunan komponent elektrodun üzərində və ya elektrodun yaxınlığında olan məhlul qatının həcmi daxilində yerləşən həssas qatla birbaşa reaksiyaya girir. Məsələn, havada CO<sub>2</sub> konsentrasiyasının təyin olunması üçün konduktometrik KS-lərdən istifadə edilir. Onların işi su məhlulunda həll olmuş karbon qazının elektrik keçiriciliyinin ölçülməsinə əsaslanır. Bu məhlulda, adətən, karbon turşusunun dissosiasiyası nəticəsində H<sup>+</sup> ionları əmələ gəlir və onların miqdarı havadakı CO<sub>2</sub>-nin qismən təzyiqindən asılıdır. CO<sub>2</sub> olmayan (yəni boş) məhlulla analiz edilən məhlul arasındakı elektrik keçiriciliyi fərqi analitik signal kimi qeydə alınır.

Elektrokimyəvi sensorların sxemləri kimyəvi informasiyanın elektrik signalına çevrilməsi prinsipinə əsaslanır və adətən elektrokimyəvi hüceyrədən və onun parametrlərini ölçmək üçün nəzərdə tutulmuş elektron sxemdən ibarət olur.

### 3. Elektrokimyəvi sensorun ümumiləşdirilmiş sxemi:

Elektrokimyəvi sensorun ümumi quruluşu aşağıdakı əsas elementləri özündə birləşdirir:

1. **Elektrokimyəvi hüceyrə:** Sensorun əsas hissəsi olub kimyəvi reaksiyanın baş verdiyi yerdir.
  - **İşçi elektrod (WE – Working Electrode):** Təyin olunan maddə ilə əsas oksidləşmə–reduksiya reaksiyası məhz burada gedir.
  - **Müqayisə elektrodu (RE – Reference Electrode):** Digər elektrodların potensialının bu elektrodla müqayisədə ölçülməsi üçün sabit və dəyişməz potensial saxlayır.
  - **Köməkçi elektrod (CE – Counter Electrode):** Elektrik dövrəsini bağlayaraq hüceyrədə cərəyanın yaranmasını təmin edir.**Elektrolit:** Elektrodlar arasında ion keçiriciliyini təmin edən mühitdir.

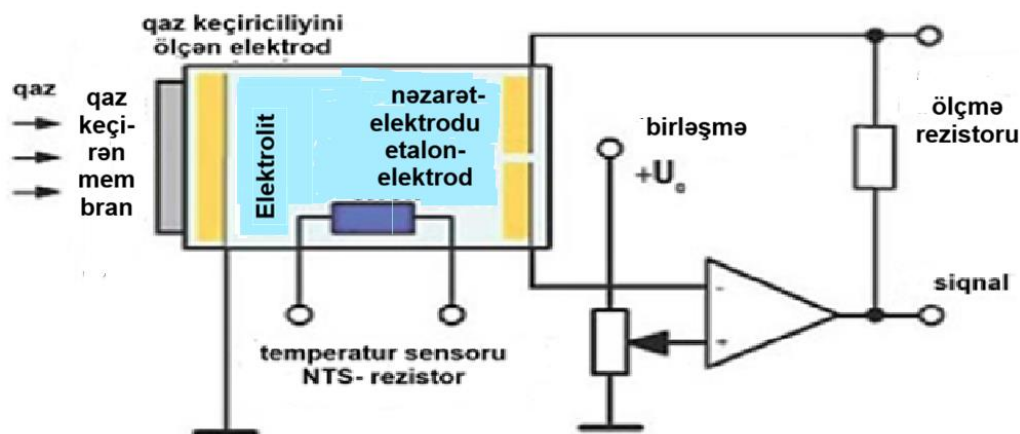
2. **Elektron sxem (ölçü elektronikası):** Elektrodların potensiallarını idarə etmək (bəzi sensor növlərində) və çıxış signalını (cərəyan, gərginlik və ya müqavimət) ölçmək üçün istifadə olunur.

#### **Elektrokimyəvi sensor sxemlərinin əsas növləri (iş prinsipinə görə)**

Sensorların sxematik quruluşu ölçmənin fiziki-kimyəvi prinsipindən asılıdır:

- **Amperometrik / Volt-amperometrik sensorlar:** Prinsip işçi elektrodun potensialda hüceyrədən keçən cərəyanın ölçülməsinə əsaslanır. Elektron sxemə işçi elektrodla müqayisə elektrodu arasındakı potensial fərqi sabit saxlayan **potensiostat** və cərəyanı ölçən **ampermetr** daxildir.

- **Potensiometrik sensorlar:**  
İşçi elektrod ilə müqayisə elektrodu arasındakı potensial fərqi (gərginliyi) ölçür və bu zaman hüceyrədən demək olar ki, heç bir cərəyan keçmir. Sxem adətən yüksək giriş müqavimətinə malik voltmetrdən ibarət olur.
  - **Konduktometrik sensorlar:**  
Elektrodlar arasındakı elektrolitin elektrik keçiriciliyini (və ya müqavimətini) ölçür. Sxemə dəyişən cərəyan mənbəyi və empedans və ya keçiricilik ölçən qurğu daxildir.
- **Kulonometrik sensorlar:**  
Elektrokimyəvi reaksiya zamanı hüceyrədən keçən elektrik yükünün miqdarını ölçür. Sxemdə cərəyanın inteqratoru (kulonmetr) istifadə olunur.
- ❖ Qoşulma sxemləri (şəkil 3)
- ✓ Müasir elektrokimyəvi sensorların əksəriyyətində üç elektrodlu qoşulma sxemi tətbiq olunur. Bu sxem yüksək sabitlik və ölçmə dəqiqliyi təmin edir, xüsusilə də amperometrik sensorlar üçün. İki elektrodlu sxemlər daha sadə olsa da, sabitliyi və dəqiqliyi daha aşağıdır.
  - ✓ Elektron hissə çox vaxt əməliyyat gücləndiriciləri (ƏG) vasitəsilə qurulur — bunlar potensiostatların yaradılmasında və çox kiçik cərəyan və ya gərginliklərin ölçülməsində istifadə olunur. Müasir “ağıllı” sensorlar siqnalın rəqəmsal emalı və kalibrənməsi üçün mikrokontrollerlərlə təchiz oluna bilər [4].



Şəkil 3. Elektrokimyəvi sensorun qoşulma sxemi [5].

Elektrokimyəvi (EK) sensorları adi akkumulyator batareyası ilə müqayisə etmək olar. Onların orta istismar və ya saxlanma müddəti 9–36 ay təşkil edir, lakin nəzərə almaq lazımdır ki, sensorun istismar müddəti istifadə olunub-olunmamasından asılı olmayaraq tədricən azalır. Qaz-həssas sensorun ölçüləri nə

qədər böyük və tərkibindəki elektrolitin miqdarı nə qədər çox olarsa, onun iş sabitliyi, istismar müddəti və qaza həssaslığı bir o qədər yüksək olur.

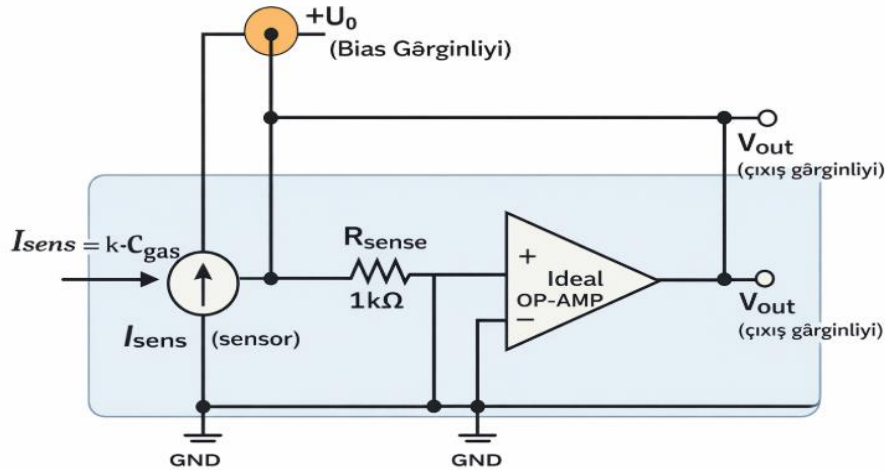
Adətən ən qısa istismar müddətinə oksigen ( $O_2$ ) üçün nəzərdə tutulmuş elektrokimyəvi sensor malik olur. Bəzi EK sensorlar yalnız onlara qidalandırıcı gərginlik verildikdə aşkarlanan qazın cari miqdarına uyğun çıxış elektrik siqnalı formalaşdırır. Digər elektrokimyəvi sensorlar isə heç bir əlavə enerji mənbəyi olmadan bu siqnalı müstəqil şəkildə yarada bilir.

Elektrokimyəvi sensorlu qaz analizatorları (EK) qapalı məkanlarda quraşdırılarkən, termokimyəvi qaz analizatorlarında olduğu kimi, ölçülən qazın xüsusiyyətləri — havadan ağır və ya yüngül olması — nəzərə alınmalıdır. Elektrokimyəvi datçikli qaz analizatorlarının güclü istilik axınlarının dövr etdiyi yerlərdə və ya istilik aqreqlərinin yaxınlığında yerləşdirilməsi tövsiyə olunmur, çünki EK sensorun qızması çox vaxt ölçülən konsentrasiyanın artmasına və səsli siqnalizasiya ilə işıq xəbərdarlığının yalnız qəza işə düşməsinə səbəb olur. Qaz analizatorunu başqa yerdə quraşdırmaq mümkün olmadıqda, onu yüksək temperaturun təsirindən qorumaq üçün istilik aqreqləti tərəfdən, qarşısına kiçik qoruyucu ekran yerləşdirmək olar [5].

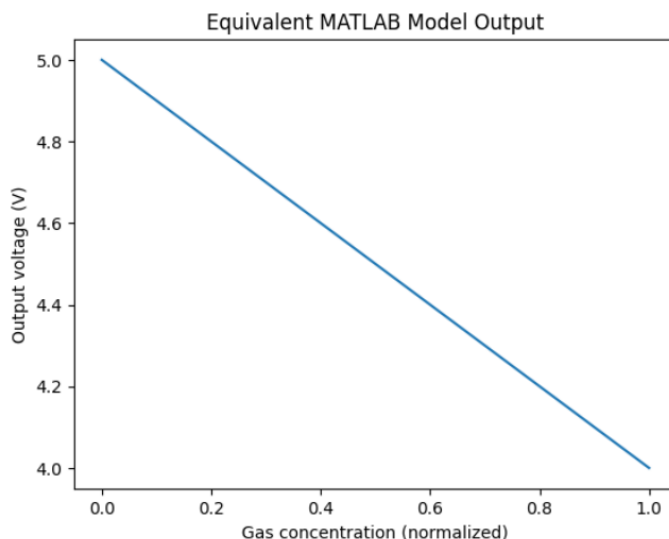
Şəkil 3-də verilmiş elektrokimyəvi qaz sensoru aşağıdakı əsas bloklardan ibarətdir:

1. **Qaz keçiriciliyini ölçən elektrod** - qaz konsentrasiyasından asılı olaraq elektrokimyəvi cərəyan yaradır;
2. **Elektrolid, etalon və nəzarət elektrodu** - Potensial sabitliyi təmin edir;
3. **Ölçmə rezistoru** - Sensor cərəyanını gərginliyə çevirir;
4. **Əməliyyat gücləndiricisi** – cərəyan-gərginlik çevrilməsi aparır;
5. **Temperatur sensoru (NTC)** .

Sensorun sadələşdirilmiş ekvivalent sxeminin Matlab-da simulyasiyası şəkil 4-də, alınan nəticənin qrafik təsviri isə şəkil 5-də verilmişdir.



**Şəkil 4.** Elektrokimyəvi qaz sensorunun sadələşdirilmiş ekvivalent sxeminin Matlab-da simulyasiyası



**Şəkil 5.** Nəticənin qrafik təsviri

Müəyyən araşdırmalardan sonra belə bir nəticəyə gəlmək olar:

Qaz konsentrasiyası artdıqca: sensor cərəyanı **xətti artır**, ölçmə rezistorunda düşən gərginlik **artır** və çıxış gərginliyi **xətti azalır**.

Bu davranış **real elektrokimyəvi qaz sensorlarının** tipik çıxış xarakteristikasına uyğundur.

Beləliklə, müvafiq sensor cihazlarından istifadə edərək maddənin kimyəvi tanınması ümumi bir problem hesab edilə bilər və burada biosensorlar yeni olsa da (həssas təbəqə bioloji materialdan istifadə edir) xüsusi bir haldır. Ətraf mühit və insan sağlamlığı problemlərinin həlli üçün ixtisaslaşmış cihazlar kimi biosensorlar əvvəllər müzakirə edilmişdir. Bu mənada kimyəvi sensorlar daha geniş analitik tətbiqlərə imkan verir [1].

Yeni sensorlar və sensor əsaslı analitik metodlar üzrə tədqiqatlar sürətlə inkişaf edir. Sensorlar təkcə analitik kimyada deyil, eyni zamanda texnologiyada, tibbdə və ekologiyada diaqnostika məqsədilə geniş istifadə olunan güclü vasitələrdir.

### Ədəbiyyat

1. Будников, Г.К. Что такое химические сенсоры / Г. К. Будников // Соровский образовательный журнал. – 1998. - № 3
2. Р.Каттралла. Химические сенсоры. М.: Научный мир 2000. –144с.

3. [file:///C:/Users/Murad/Downloads/diagnostika-okklyuziono-artikulyatsionnoy-disfunktsii-visochno-nizhnechelyustnogo-sustava%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Murad/Downloads/diagnostika-okklyuziono-artikulyatsionnoy-disfunktsii-visochno-nizhnechelyustnogo-sustava%20(1).pdf)
4. Электрохимические методы анализа : учеб. пособие / [А. Н. Козицина, А. В. Иванова, Ю. А. Глазырина, Е. Л. Герасимова, Т. С. Свалова, Н. Н. Малышева, А. В. Охохонин ; под общ. ред. А. И. Матерна] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 128 с.
5. <https://www.sensorgas.ru/poleznoe.html&art=10>

*Агаева Ф.Ш., Маммадова Р.Дж.,  
Гусейнова А.С., Кулиева Л.И.*

*Сумгаитский Государственный Университет,*

**ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ПРЯМОГО  
ДЕЙСТВИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ  
MATLAB  
РЕЗЮМЕ**

**Ключевые слова:** химические датчики, электрод сравнения, электронная схема, выходной сигнал, коэффициент усиления.

В научной работе анализируются химические датчики, химические датчики прямого действия и их типы. Химический датчик — это устройство, которое распознает определенное химическое вещество (газ, ион, молекулу и т. д.) в окружающей среде и преобразует его в электрический сигнал. Датчики прямого действия также являются подвидом химических датчиков, эффект от которых происходит непосредственно, быстрее и проще. В этих датчиках физико-химические свойства вещества непосредственно воздействуют на сенсорный элемент, и этот эффект немедленно преобразуется в электрический сигнал.

В Matlab выполнено моделирование упрощенной эквивалентной схемы электрохимического газового датчика, и приведено графическое представление результата. Согласно графическому представлению, по мере увеличения концентрации газа: ток датчика линейно возрастает, падение напряжения на измерительном резисторе увеличивается, а выходное напряжение линейно уменьшается.

Это поведение соответствует типичной выходной характеристике реальных электрохимических газовых датчиков.

*Agayeva F.Sh., Maamdova R.C.,  
Huseynova A.S., Guliyeva L.İ.  
Sumgait State University,*

***APPLICATIONS OF DIRECT-ACTING CHEMICAL SENSORS AND  
MODELING USING MATLAB***

***SUMMARY***

**Keywords:** chemical sensors, reference electrode, electronic circuit, output signal, amplification factor.

In the scientific research work, chemical sensors, direct-acting chemical sensors and their types are analyzed. A chemical sensor is a device that recognizes a certain chemical substance (gas, ion, molecule, etc.) in the environment and converts it into an electrical signal. Direct-acting sensors are also a subtype of chemical sensors, the effect occurs directly, faster and simpler. In these sensors, the physicochemical properties of the substance directly affect the sensor element, and this effect is immediately converted into an electrical signal.

A simulation of a simplified equivalent circuit of an electrochemical gas sensor is performed in Matlab and a graphical representation of the result is given. According to the graphical representation, as the gas concentration increases: the sensor current increases linearly, the voltage drop across the measuring resistor increases, and the output voltage decreases linearly.

This behavior corresponds to the typical output characteristic of real electrochemical gas sensors.

**Rəyçi: prof. Hüseynov Aqil Hidayət oğlu**