

**ACADEMIC SCIENTIFIC
JOURNAL OF CHEMISTRY**

ISSN: 2224-5286 (Print)
ISSN: 2518-1491 (Online)

**№3
2026**

ISSN 2518-1491 (Online),
ISSN 2224-5286 (Print)



ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

3 (468)

JULY – SEPTEMBER 2026

PUBLISHED SINCE JANUARY 1947
PUBLISHED 4 TIMES A YEAR

ALMATY

Editor in chief:

ZHURINOV Murat Zhurinovich, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Academician of IAAS and NAS RK, General Director of the Research Institute of Petroleum Refining and Petrochemicals (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Editorial board:

ADEKENOV Sergazy Mynzhasarovich (deputy editor-in-chief) doctor of chemical sciences, professor, academician of NAS RK, director of the JSC "Phytochemistry Research and Production Center" (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

AGABEKOV Vladimir Enokovich (deputy editor-in-chief), doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Belarus, honorary director of the Institute of Chemistry of new materials (Minsk, Belarus) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

STRNAD Miroslav, head of the laboratory of the Institute of Experimental Botany of the Czech Academy of Sciences, professor (Olomouc, Czech Republic), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

BURKITBAYEV Mukhambetkali, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

HOHMANN Judith, head of the department of pharmacognosy, faculty of Pharmacy, University of Szeged, director of the interdisciplinary center for Life sciences (Szeged, Hungary), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

ROSS Samir, Ph.D, professor, school of Pharmacy, National Center for scientific research of Herbal Products, University of Mississippi (Oxford, USA), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

KHUTORYANSKY Vitaly, Ph.D, pharmacist, professor at the University of Reading (Reading, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

TELTAYEV Bagdat Burkhanbayuly, doctor of technical sciences, professor, academician of NAS RK, (Almaty, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid college of Oriental medicine, faculty of Oriental medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

FAZYLOV Serik Drakhmetovich, doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK, deputy director of the Institute of Organic Synthesis and Coal Chemistry (Karaganda, Kazakhstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ZHOROBEKOVA Sharipa Zhorobekovna, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Kyrgyzstan, Institute of Chemistry and chemical technology of NAS KR (Bishkek, Kyrgyzstan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

KHALIKOV Jurabay Khalikovich, doctor of chemistry, professor, academician of the Academy of Sciences of Tajikistan, V.I. Nikitin Institute of Chemistry AS RT (Tajikistan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

FARZALIEV Vagif Medzhid ogly, doctor of chemistry, professor, academician of NAS of Azerbaijan (Azerbaijan), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

GARELIK Hemda, PhD in chemistry, president of the department of Chemistry and Environment of the International Union of Pure and Applied Chemistry (London, England), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Owner: «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty).

The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan № **KZ23VPY00121156**, issued 05.06.2025

Thematic scope: *organic chemistry, inorganic chemistry, catalysis, electrochemistry and corrosion, pharmaceutical chemistry and technology.*

Periodicity: 4 times a year.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Central Asian Academic Research Center» LLP, 2026

Бас редактор:

ЖҰРЫНОВ Мұрат Жұрынулы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ХФАҚ және ҚР ҰҒА академигі, Мұнай өңдеу және мұнай-химиясы ғылыми-зерттеу институтының бас директоры (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=66021779606>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакция алқасы:

ӘДЕКЕНОВ Серғазы Мыңжасарұлы (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, "Фитохимия" ғылыми-өндірістік орталығы" АҚ директоры (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (бас редактордың орынбасары), химия ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі, Жаңа материалдар химиясы институтының құрметті директоры (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, Чехия ғылым академиясының Эксперименттік ботаника институтының зертхана меңгерушісі (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БҮРКІТБАЕВ Мұхамбетқали, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, Сегед университетінің Фармацевтика факультетінің Фармакогнозия кафедрасының меңгерушісі, Жаратылыстану ғылымдарының пәнаралық орталығының директоры (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, Миссисипи университетінің Өсімдік өнімдерін ғылыми зерттеу ұлттық орталығы, Фармация мектебінің профессоры (Оксфорд, АҚШ), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, философия докторы (PhD, фармацевт), Реддинг университетінің профессоры (Реддинг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛТАЕВ Бағдат Бұрханбайұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, (Алматы, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Шығыс медицина колледжінің профессоры, Хамдард университетінің Шығыс медицина факультеті (Карачи, Пәкістан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серік Драхметұлы, химия ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Органикалық синтез және көмір химиясы институты директорының ғылыми жұмыстар жөніндегі орынбасары (Қарағанды, Қазақстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробекқызы, химия ғылымдарының докторы, профессор, Қырғызстан ҰҒА академигі, ҚР ҰҒА Химия және химиялық технология институты (Бішкек, Қырғызстан) <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, химия ғылымдарының докторы, профессор, Тәжікстан ҒА академигі, В.И. Никитин атындағы Химия институты (Душанбе, Тәжікстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджидоглы, химия ғылымдарының докторы, профессор, АҰҒА академигі (Баку, Әзірбайжан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, философия докторы (PhD, химия), Халықаралық таза және қолданбалы химия одағының Химия және қоршаған орта бөлімінің президенті (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY».

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр» (г. Алматы).

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № KZ23VPY00121156, выданное 05.06.2025 г.

Тематическая направленность: *органическая химия, неорганическая химия, катализ, электрохимия и коррозия, фармацевтическая химия и технологии.*

Периодичность: 4 раз в год.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arithv>

© ТОО «Центрально-азиатский академический научный центр», 2026

Главный редактор:

ЖУРИНОВ Мурат Журинович, доктор химических наук, профессор, академик МАН и НАН РК, Генеральный директор НИИ нефтепереработки и нефтехимии (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602177960>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/2017489>

Редакционная коллегия:

АДЕКЕНОВ Сергазы Мынжасарович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, директор АО «Научно-производственного центра» Фитохимия» (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7006153118>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/48648658>

АГАБЕКОВ Владимир Енокович (заместитель главного редактора), доктор химических наук, профессор, академик НАН Беларуси, почетный директор Института химии новых материалов (Минск, Беларусь), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004624845>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/28920574>

СТРНАД Мирослав, профессор, заведующий лабораторией института Экспериментальной ботаники Чешской академии наук (Оломоуц, Чехия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=36789185000>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/18379>

БУРКИТБАЕВ Мухамбеткали, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8513885600>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/691218>

ХОХМАНН Джудит, заведующий кафедрой Фармакогнозии Фармацевтического факультета Университета Сегеда, директор Междисциплинарного центра естественных наук (Сегед, Венгрия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7004457196>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/15630788>

РОСС Самир, PhD, профессор Школы Фармации национального центра научных исследований растительных продуктов Университета Миссисипи (Оксфорд, США), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7401610128>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/47926269>

ХУТОРЯНСКИЙ Виталий, доктор философии (Ph.D, фармацевт), профессор Университета Рединга (Рединг, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35606915700>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/221621>

ТЕЛЫТАЕВ Багдат Бурханбайулы, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Министерство Индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506225641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/72161>

ФАРУК Ахсана Дар, профессор колледжа Восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет Восточной медицины университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55884056900>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1796996>

ФАЗЫЛОВ Серик Драгметович, доктор химических наук, профессор, академик НАН РК, заместитель директора по научной работе Института органического синтеза и углехимии (Караганда, Казахстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6701472056>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/1541357>

ЖОРОБЕКОВА Шарипа Жоробековна, доктор химических наук, профессор, академик НАН Кыргызстана, Институт химии и химической технологии НАН КР (Бишкек, Кыргызстан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6602652060>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/31723468>

ХАЛИКОВ Джурабай Халикович, доктор химических наук, профессор, академик АН Таджикистана, Институт химии имени В.И. Никитина АН РТ (Душанбе, Таджикистан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6603735641>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/9567106>

ФАРЗАЛИЕВ Вагиф Меджид оглы, доктор химических наук, профессор, академик НАНА (Баку, Азербайджан), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6601962486>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/21617033>

ГАРЕЛИК Хемда, доктор философии (Ph.D, химия), президент Отдела химии и окружающей среды Международного союза чистой и прикладной химии (Лондон, Англия), <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56010090400>, <https://www.webofscience.com/wos/author/record/29866743>

«ACADEMIC SCIENTIFIC JOURNAL OF CHEMISTRY»

ISSN 2518-1491 (Online),

ISSN 2224-5286 (Print)

Меншіктенуші: «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 05.06.2025 ж. берілген № KZ23VPY00121156 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *органикалық химия, бейорганикалық химия, катализ, электрохимия және коррозия, фармацевтикалық химия және технологиялар.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет.

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

© «Орталық Азия академиялық ғылыми орталығы» ЖШС, 2026

CONTENTS

Abdugaliyev A.Sh., Jalmakhanbetova R.I., Mukusheva G.K. Atomistic insight into solvent effects on the chemical structure of betulonic acid.....	11
Assembayeva E.K., Shadi D.K., Nurmukhanbetova D.E., Bozhbanov A.Zh., Gabdullina E.Zh. Effect of inulin on the quality characteristics of a fermented cheese whey-based beverage	25
Asylbekova D.D., Toktibayeva Kh.R., Kaldybayeva A.R., Zhurkhabayeva L., Tukibayeva A.S. Electrochemical behavior of phosphorous acid on a platinum electrode and its galvanostatic anodic oxidation using a lead anode	39
Auyeshov A.P., Yeskibayeva Ch.Z., Ibrayeva A.M., Alzhanov K.B., Dzholdasova E.M. Investigation of the adsorption characteristics of silica obtained from serpentinite by a combined acid–alkali method	58
Galymzhan A., Kozhabekov S., Kuanyshev A., Sansyzbay N., Abdrasilova A. Effect of octadecyl methacrylate–maleic anhydride copolymer composition on crude oil rheological properties	78
Darmenbayeva A.S., Rajasekharan R. Investigation of the structural properties of nanocellulose membranes derived from agricultural waste	95
Dmitriyeva E.A., Medvedev A., Kemelbekova A. Development of a low-temperature gas sensor based on SnO ₂ thin films and a precision measurement system for high-resistance detection	109
Dzheldybaeva I.M., Kairbekov Zh., Esenalieva M.Z., Dossumova B.T., Suimbaeva S.M. Influence of ultrasonic treatment on the structure and physicochemical properties of brown coal humic acids	125
Jumadilov T.K., Khimersen Kh., Imangazy A. Features of heavy metal ion sorption by interpolymer systems formed from homogeneous polyelectrolytes	140
Zhylykybek M., Orazbekova R.S., Yerkibaeva M.K., Aidarova A.O., Baizhumanova T.S. Co–Mg oxide catalysts for deep oxidation of methane: synthesis, structure, and catalytic activity.....	154
Imangaliyeva B., Rakhmetova G., Dossanova B., Sovet N. Technology of biological fertilizer production by hydrolysis treatment of polymer waste.....	169
Karar M.E., Beisenbayev O.K., Alibekov R.S., Shamsudin R. Starch extraction from Baidaly rice and Gala potatoes for application in biodegradable materials.....	186
Kudaibergenova G.N., Azimbayeva G.E., Kamysbayeva A.K., Izteleu B.M., Kurbanbayeva N.M. Fatty acid composition of <i>Helianthus tuberosus</i> flowers	204
Massenova A.T., Sass A.S., Torlopov I.I., Rakhmetova K.S., Malgazhdarova M.K. Tuning of surface acidity in Zn–Me-modified shaped ZSM-5–Al ₂ O ₃ alkylation catalysts.....	219
Nurislamov R.M., Nefedov A.N., Beissenbayev D.K., Leontyeva X.A., Imashev B.K. Effect of oxide films on the corrosion resistance of iron: modeling in COMSOL Multiphysics 6.2.....	238

Nurlybayev O., Kudaibergenova R., Taubayeva R., Bekaulova A., Seitmanbetova A. Textural properties of bentonite–sawdust carbon composites after metal-chloride-assisted carbonization.....	250
Puzikova D.S., Bessonova G.V., Kenzin N.R., Zhurinov M.Zh., Torlopov I.I. Modeling cavitation of oil-containing media in various hydrodynamic configurations.....	263
Rakhimov A., Zhanikulov N., Taimasov B., Potapova E., Sarsenbaev B. Calculation of the raw material composition for cement clinker with the addition of lead slag processing waste.....	285
Ryskalieva D., Baibulanova A., Yessenamanova M., Mustafina A., Samat A. Hydrogen sulfide pollution in the atmosphere of an industrial city: the potential role of evaporation fields (Atyrau, Kazakhstan)	299
Serikbayeva K.T., Chalov T.K., Sadykov K.A. Rubidium sorption from aqueous solutions by VEMEA–AGE–PEI anion exchangers.....	322
Seitkazinova A.R., Nazhipkyzy M., Yeleuov M.A., Zhaparov A.A., Kalybayeva A.K. Orange peel-derived porous activated carbon	334
Samadun A.I., Taussarova B.R., Asrakulova D.I., Nurmukhanbetova D.E. Biodegradable packaging films with copper nanoparticles: effect of NaBH ₄ concentration on morphology and antifungal properties	351
Khamitova T.O., Tyanakh S., Bolatbay A.N., Ma Fengyun, Aitbekova D.E. Linking geological genesis to the molecular and optical traits of humic acids from coal wastes.....	370
Talgatov E., Zamanbekova A., Abilmagzhanov A., Auyezkhanova A., Akhmetova S. Polymer-modified supported catalysts for the oxidation of cyclohexane with hydrogen peroxide.....	389

МАЗМҰНЫ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К.

Бетулон қышқылының химиялық құрылымына еріткіштер әсерін атомистикалық тұрғыдан зерттеу11

Асембаева Э.К., Шәді Д.Қ., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж.

Инулиннің ірімшік сарысуы негізіндегі ашытылған сусынның сапа көрсеткіштеріне әсері.....25

Асылбекова Д.Д., Токтыбаева Х.Р., Қалдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Түкібаева А.С.

Фосфорлы қышқылдың платина электродындағы электрохимиялық қасиеттері және оны қорғасын анодын қолданып гальваностатикалық анодты тотықтыру.....39

Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М.

Қышқылды-сілтілі комбинациялық әдіспен серпентиниттен алынған кремнеземнің адсорбциялық сипаттамаларын зерттеу58

Ғалымжан А., Қожабеков С., Қуанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А.

Октадецилметакрилат пен малеин ангидридi сополимерлері құрамының мұнайдың реологиялық қасиеттеріне әсері78

Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Агроқалдықтардан алынған наноцеллюлозалы

мембраналардың құрылымдық қасиеттерін зерттеу.....95

Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А.

SnO₂ жұқа қабықшалары негізіндегі төмен температуралы газ сенсорын және жоғары кедергілерді тіркеуге арналған прецизионды өлшеу жүйесін әзірлеу.....109

Джелдыбаева И.М., Қайырбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М.

Ультрадыбыстық өңдеудің қоңыр көмір гумин қышқылдарының құрылымы мен физика-химиялық қасиеттеріне әсері.....125

Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Иманғазы А.

Біртекті полиэлектролиттерден құрылған интерполимерлік жүйелердің ауыр металл иондарын сорбциялау ерекшеліктері.....140

Жылқыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжұманова Т.С.

Метанды терең тотықтыруға арналған Co–Mg оксидті катализаторлар: синтезі, құрылымы және каталитикалық белсенділігі.....154

Иманғалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н.

Полимер қалдықтарын гидролиздік өңдеу арқылы биологиялық тыңайтқыш алу технологиясы.....169

Қарар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин.

Байдалы күрішпен және Гала сортты картоптан крахмал алу және оны биоыдырайтын материалдарда қолдану.....186

Құдайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Ізтелеу Б.М., Құрбанбаева Н.М.

Топинамбур гүлдерінің май қышқылдық құрамы204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Zn–Me-модификацияланған қалыпталған ZSM-5–Al ₂ O ₃ алкилдеу катализаторларының беттік қышқылдығын реттеу.....	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Темірдің коррозияға төзімділігіне оксидтік қабықшалардың әсері: COMSOL Multiphysics 6.2 бағдарламасында модельдеу.....	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Металл хлоридтері қатысында карбонизацияланған бентонит–ағаш үгіндісі көміртекті композиттерінің текстуралық қасиеттері.....	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Жұрынов М.Ж., Торлопов И.И. Өртүрлі гидродинамикалық конструкциялардағы мұнай құрамды орталардың кавитация процесін модельдеу	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сәрсенбаев Б. Қорғасын қожын өндеу қалдықтары қосылған цемент клинкерінің шикізат шихтасының құрамын есептеу	285
Серікбаева К.Т., Чалов Т.К., Садықов К.А. Сулы ерітінділерден рубидийді ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ аниониттерімен сорбциялау.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипқызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Қалыбаева А.Қ. Апельсин қабығынан алынған кеуекті белсендірілген көмір.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмұханбетова Д.Е. Мыс нанобөлшектері бар биоыдырайтын қаптамалық үлдірлер: NaBH ₄ концентрациясының морфологияға және саңырауқұлаққа қарсы қасиеттеріне әсері.....	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Көмір қалдықтарынан бөлінген гумин қышқылдарының геологиялық генезисі мен молекулалық және оптикалық қасиеттерінің байланысы	351
Рысқалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мұстафина А.Ж., Самат А.С. Өнеркәсіптік қала атмосферасының күкіртсутекпен ластануы: булану алаңдарының ықтимал рөлі (Атырау, Қазақстан)	370
Талғатов Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Әуезханова А.С., Ахметова С.Н. Циклогександы сутек пероксидімен тотықтыруға арналған полимермен модификацияланған тасымалдағышқа бекітілген катализаторлар	389

СОДЕРЖАНИЕ

Абдугалимов А.Ш., Джалмаханбетова Р.И., Мукушева Г.К. Атомистическое исследование влияния растворителей на химическую структуру бетулоновой кислоты.....	11
Асембаева Э.К., Шади Д.К., Нурмуханбетова Д.Е., Божбанов А.Ж., Габдуллина Е.Ж. Влияние инулина на показатели качества ферментированного напитка на основе сырной сыворотки	25
Асылбекова Д.Д., Токтибаева Х.Р., Калдыбаева А.Р., Журхабаева Л., Тукибаева А.С. Электрохимическое поведение фосфористой кислоты на платиновом электроде и её гальваностатическое анодное окисление с использованием свинцового анода.....	39
Ауешов А.П., Ескибаева Ч.З., Ибраева А.М., Алжанов К.Б., Джолдасова Э.М. Исследование адсорбционных характеристик кремнезёма, полученного из серпентинита комбинированным кислотно-щелочным методом	58
Галымжан А., Кожабеков С., Куанышев А., Сансызбай Н., Абдрасилова А. Влияние состава сополимеров октадецилметакрилата и малеинового ангидрида на реологические свойства нефти	78
Дарменбаева А.С., Rajasekharan R. Исследование структурных свойств наноцеллюлозных мембран, полученных из агроотходов.....	95
Дмитриева Е.А., Медведев А., Кемелбекова А. Разработка низкотемпературного газового сенсора на основе тонких плёнок SnO_2 и прецизионной измерительной системы для регистрации высокоомных сопротивлений.....	109
Джелдыбаева И.М., Каирбеков Ж., Есеналиева М.З., Досумова Б.Т., Суймбаева С.М. Влияние ультразвуковой обработки на структуру и физико-химические свойства гуминовых кислот бурого угля	125
Джумадилов Т.К., Химэрсэн Х., Имангазы А. Особенности сорбции ионов тяжёлых металлов интерполимерными системами, сформированными из однородных полиэлектролитов.....	140
Жылкыбек М., Оразбекова Р.С., Еркибаева М.К., Айдарова А.О., Байжуманова Т.С. Co–Mg оксидные катализаторы для глубокого окисления метана: синтез, структура и каталитическая активность	154
Имангалиева Б., Рахметова Г., Досанова Б., Совет Н. Технология получения биологического удобрения путём гидролизной обработки полимерных отходов	169
Карар М.Е., Бейсенбаев О.К., Алибеков Р.С., Роснах Шамсудин. Получение крахмала из риса «Байдалы» и картофеля сорта «Гала» и его применение в биоразлагаемых материалах	186
Кудайбергенова Г.Н., Азимбаева Г.Е., Камысбаева А.К., Изтелеу Б.М., Курбанбаева Н.М. Жирнокислотный состав цветков топинамбура	204

Масенова А.Т., Сасс А.С., Торлопов И.И., Рахметова К.С., Малгаждарова М.К. Регулирование поверхностной кислотности Zn–Me-модифицированных формованных ZSM-5–Al ₂ O ₃ катализаторов алкилирования	219
Нурисламов Р.М., Нефедов А.Н., Бейсенбаев Д.К., Леонтьева К.А., Имашев Б.К. Влияние оксидных плёнок на коррозионную стойкость железа: моделирование в COMSOL Multiphysics 6.2	238
Нурлыбаев О., Кудайбергенова Р., Таубаева Р., Бекаулова А., Сейтманбетова А. Текстурные свойства бентонит–углеродных композитов после карбонизации в присутствии хлоридов металлов	250
Пузикова Д.С., Бессонова Г.В., Кензин Н.Р., Журинов М.Ж., Торлопов И.И. Моделирование процесса кавитации нефтесодержащих сред в различных гидродинамических конструкциях.....	263
Рахимов А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Потапова Е., Сарсенбаев Б. Расчёт состава сырьевой шихты для цементного клинкера с добавлением отходов переработки свинцового шлака	285
Серикбаева К.Т., Чалов Т.К., Садыков К.А. Сорбция рубидия из водных растворов анионитами ВЭМЭА–АГЭ–ПЭИ.....	299
Сейтказинова А.Р., Нажипкызы М., Елеуов М.А., Жапаров А.А., Калыбаева А.К. Пористый активированный углерод, полученный из апельсиновой кожуры.....	322
Самадун А.И., Таусарова Б.Р., Асракулова Д.И., Нурмуханбетова Д.Е. Биоразлагаемые упаковочные плёнки с наночастицами меди: влияние концентрации NaBH ₄ на морфологию и антигрибковые свойства	334
Хамитова Т.О., Тянах С., Болатбай А.Н., Ма Фэньюнь, Айтбекова Д.Е. Связь геологического генезиса с молекулярными и оптическими характеристиками гуминовых кислот из угольных отходов	351
Рыскалиева Д.К., Байбуланова А.А., Есенаманова М.С., Мустафина А.Ж., Самат А.С. Загрязнение атмосферы промышленного города сероводородом: потенциальная роль полей испарения (Атырау, Казахстан)	370
Талгатова Э.Т., Заманбекова А.Т., Абильмагжанов А.З., Ауезханова А.С., Ахметова С.Н. Полимер-модифицированные нанесённые катализаторы окисления циклогексана пероксидом водорода	389

© **Dmitriyeva E.A., Medvedev A., Kemelbekova A.***, 2026.

Institute of Physics and Technology, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

DEVELOPMENT OF A LOW-TEMPERATURE GAS SENSOR BASED ON SnO_2 THIN FILMS AND A PRECISION MEASUREMENT SYSTEM FOR HIGH-RESISTANCE DETECTION

Dmitriyeva Elena — Candidate of Phys.-Math. Sc., professor, leading researcher, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: y.dmitriyeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Medvedev Aleksand — engineer, «Institute of Physics and technology», Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.medvedev@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

Kemelbekova Ainagul — PhD, IPT senior researcher, Almaty, Kazakhstan,

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Abstract. This study presents the results of a comprehensive investigation aimed at developing a room-temperature gas sensor based on tin oxide thin films and creating a high-precision measurement system capable of detecting very small resistance variations in the sensing element. The relevance of this work is driven by the need to improve safety in industrial environments where explosive gas leaks may occur, as well as by the challenge of reducing the operating temperature of semiconductor gas sensors, which traditionally function at 300–500 °C. Such high temperatures not only increase energy consumption but also pose a risk of igniting gas mixtures, making the development of room-temperature sensors particularly important. Tin oxide (SnO_2) thin films were used as the sensing material. They were deposited onto glass substrates by spray pyrolysis at 400 °C using three types of precursor systems based on $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. The structure and morphology of the films were examined using SEM and X-ray diffraction, while their optical properties were studied by spectrophotometry. Changes in electrical resistance under exposure to water vapor were measured using the four-probe method, enabling evaluation of the material's sensitivity at room temperature. To accurately measure high resistances, a precision measurement system was developed using the 16-bit ADS1115 ADC. The system incorporates a four-wire measurement configuration, a stabilized current source, and software for real-time data visualization. Major noise sources inherent to high-resistance measurements including thermal noise, operational amplifier input current noise, electromagnetic interference, and ADC internal noise were analyzed, and effective mitigation strategies were implemented. Long-term

testing demonstrated excellent stability, low noise levels, and a measurement error not exceeding 0.5% within the 100 Ω –1000 k Ω range. These results confirm the suitability of the proposed approach for developing low-temperature humidity and gas sensors, as well as its potential for use in hazardous environments where high-temperature sensors are unsafe.

Keywords: gas sensors, low-temperature sensors, tin oxide, high-resistance sensors, sensitive element

Financing. *The work was supported by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan under the program BR28712683 "Development of technology to reduce energy consumption and waste without compromising efficiency in the processing of lithium-ion batteries".*

For citations: Dmitriyeva E.A., Medvedev A., Kemelbekova A. Development of a low-temperature gas sensor based on SnO₂ thin films and a precision measurement system for high-resistance detection. Academic Scientific Journal of Chemistry, 2026. — No. 3. — P. 109–124. DOI: <https://doi.org/10.32014/2026.2518-1491.390>.

© Дмитриева Е., Медведев А., Кемелбекова А.*, 2026.

Физика-техникалық институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан.

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

SNO₂ ЖҰҚА ҚАБЫҚШАЛАРЫ НЕГІЗІНДЕГІ ТӨМЕН ТЕМПЕРАТУРАЛЫ ГАЗ СЕНСОРЫН ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ КЕДЕРГІЛЕРДІ ТІРКЕУГЕ АРНАЛҒАН ПРЕЦИЗИОНДЫ ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІН ДАМУ

Дмитриева Елена — физика-математика ғылымдарының кандидаты, профессор, жетекші ғылыми қызметкер, Физика-техникалық институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан,
E-mail: y.dmitriyeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Медведев Александр — инженер, Физика-техникалық институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.medvedev@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

Кемелбекова Айнагүл — PhD, аға ғылыми қызметкер, Физика-техникалық институты, Satbayev University, Алматы, Қазақстан,

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация. Бұл жұмыста қалайы оксидінің жұқа қабықшалары негізінде төмен температурада жұмыс істейтін газ сенсорын әзірлеуге және сезгіш элемент кедергісінің аз өзгерістерін жоғары дәлдікпен тіркеуге арналған өлшеу жүйесін жасауға бағытталған кешенді зерттеу нәтижелері ұсынылған. Зерттеудің өзектілігі жарылыс қаупі бар газдардың ағып кетуі мүмкін өндірістік ортадағы қауіпсіздікті арттыру қажеттілігімен және әдетте 300–500 °C температурада жұмыс істейтін жартылай өткізгіш газ сенсорларының жұмыс температурасын төмендету міндетімен байланысты. Жоғары температура энергия шығынын арттырып

қана қоймай, газ қоспаларының тұтану қаупін де жоғарылатады, сондықтан бөлме температурасында жұмыс істейтін сенсорлық жүйелерді әзірлеу ерекше маңызға ие. Сезгіш материал ретінде SnO_2 жұқа қабықшалары пайдаланылды. Олар $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ негізіндегі үш түрлі прекурсорлық жүйені пайдалана отырып, 400°C температурада шыны төсеніштерге спрей-пиролиз әдісімен түсірілді. Қабықшалардың құрылымы мен морфологиясы сканерлеуші электрондық микроскопия және рентгендік дифракция әдістерімен зерттелді, ал оптикалық қасиеттері спектрофотометриялық әдіспен бағаланды. Су буының әсері кезіндегі электрлік кедергінің өзгеруі төрт зондты әдіспен өлшеніп, материалдың бөлме температурасындағы сезімталдығы анықталды. Жоғары кедергілерді дәл өлшеу үшін 16-разрядты ADS1115 аналогтық-цифрлық түрлендіргіші негізінде прецизионды өлшеу жүйесі әзірленді. Жүйе төрт сымды өлшеу сұлбасын, тұрақтандырылған ток көзін және деректерді нақты уақыт режимінде визуализациялауға арналған бағдарламалық қамтамасыз етуді қамтиды. Жоғары кедергілерді өлшеуге әсер ететін негізгі шу көздері, соның ішінде жылулық шу, операциялық күшейткіштің кіріс тогының шуы, электромагниттік кедергілер және АЦТ-ның ішкі шуы талданып, оларды азайтудың тиімді тәсілдері қолданылды. Ұзақ мерзімді сынақтар жүйенің тұрақты жұмысын, төмен шу деңгейін және $100\ \text{Om} - 1000\ \text{kOm}$ диапазонында $0,5\%$ -дан аспайтын өлшеу қатесін көрсетті. Алынған нәтижелер ұсынылған тәсілдің төмен температуралы ылғалдылық және газ сенсорларын әзірлеуге жарамдылығын дәлелдейді және оны жоғары температуралы сенсорларды пайдалану қауіпті болатын өндірістік жағдайларда қолдану мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: газ сенсорлары, төмен температуралы сенсорлар, қалайы оксиді, жоғары кедергілерді өлшеу, сезгіш элемент

© Дмитриева Е., Медведев А., Кемелбекова А. *, 2026.

Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан.

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university

РАЗРАБОТКА НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГАЗОВОГО СЕНСОРА НА ОСНОВЕ ТОНКИХ ПЛЁНОК SnO_2 И ПРЕЦИЗИОННОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ВЫСОКООМНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Дмитриева Елена — кандидат физико-математических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан,

E-mail: y.dmitriyeva@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0002-1280-2559>;

Медведев Александр — инженер, Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.medvedev@satbayev.university, <https://orcid.org/0009-0006-4361-8099>;

Кемелбекова Айнагуль — PhD, старший научный сотрудник, Физико-технический институт, Satbayev University, Алматы, Казахстан,

E-mail: a.kemelbekova@satbayev.university, <https://orcid.org/0000-0003-4813-8490>.

Аннотация: В работе представлены результаты комплексного исследования, направленного на разработку низкотемпературного газового сенсора на основе тонких плёнок оксида олова и создание высокоточной измерительной системы для регистрации малых изменений сопротивления чувствительного элемента. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения безопасности промышленных процессов, связанных с риском утечки взрывоопасных газов, а также задачей снижения рабочей температуры полупроводниковых сенсоров, традиционно функционирующих при 300–500 °С. Высокие рабочие температуры не только увеличивают энергопотребление, но и создают риск воспламенения газовых смесей, что обуславливает актуальность разработки сенсоров, способных функционировать при комнатной температуре. В качестве чувствительного материала использовали тонкие плёнки SnO_2 , полученные методом спрей-пиролиза на стеклянных подложках при 400 °С с применением трёх типов прекурсорных систем на основе $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Структуру и морфологию плёнок исследовали методами сканирующей электронной микроскопии и рентгеновской дифракции, а их оптические свойства — спектрофотометрическим методом. Изменение электрического сопротивления при воздействии паров воды измеряли четырёхзондовым методом, что позволило оценить чувствительность материала при комнатной температуре. Для точной регистрации высоких сопротивлений была разработана прецизионная измерительная система на базе 16-разрядного аналого-цифрового преобразователя ADS1115, включающая четырёхпроводную схему подключения, источник стабилизированного тока и программное обеспечение для визуализации данных в реальном времени. Проанализированы основные источники шумов, характерные для измерений высоких сопротивлений, включая тепловой шум, шум входного тока операционного усилителя, электромагнитные помехи и собственный шум АЦП, а также реализованы меры по их снижению. Длительные испытания подтвердили стабильность работы системы, низкий уровень шумов и погрешность измерений не более 0,5% в диапазоне сопротивлений 100 Ом–1000 кОм. Полученные результаты подтверждают пригодность предложенного подхода для разработки низкотемпературных датчиков влажности и газовых сенсоров, а также перспективность его применения в потенциально опасных средах, где использование высокотемпературных сенсоров нежелательно.

Ключевые слова: газовые сенсоры, низкотемпературная сенсорика, оксид олова, высокоомные датчики, чувствительный элемент

Введение. Промышленная автоматизация в последние десятилетия развивается особенно стремительно, и вместе с этим возрастает потребность в надёжных системах контроля состава газовой среды. Обнаружение взрывоопасных газов в технологических процессах является ключевым фактором обеспечения стабильной и безопасной работы оборудования, поскольку даже кратковременное превышение допустимых концентраций может привести к аварийным ситуациям (Sharma et al., 2011; Brunet et al., 2012). Среди различных типов датчиков особое

внимание уделяется полупроводниковым газовым сенсорам, которые получили широкое распространение благодаря низкой стоимости, простоте конструкции, высокой скорости отклика и возможности интеграции в компактные устройства (Kaur et al., 2007; Zhao et al., 2025).

Несмотря на очевидные преимущества, полупроводниковые сенсоры имеют ряд ограничений, связанных прежде всего с температурным режимом работы. Для большинства оксидных материалов характерно, что чувствительность сенсора сначала возрастает с увеличением температуры, достигая максимума, а затем снижается. Это обусловлено сложной кинетикой адсорбции и десорбции газовых молекул на поверхности полупроводника. Достижение высокой чувствительности при низкой температуре остаётся серьёзной научно-технической задачей, поскольку процессы поверхностного взаимодействия при комнатной температуре протекают значительно медленнее. В результате подавляющее большинство промышленных сенсоров функционируют при повышенных температурах, зачастую превышающих 200–300 °С. Такой режим требует встроенного нагревателя, увеличивает энергопотребление и создаёт дополнительные риски при работе во взрывоопасных средах.

Особенно критичным становится тот факт, что рабочая температура сенсора может оказаться выше температуры воспламенения некоторых газовых смесей. В этом случае сам датчик превращается в потенциальный источник возгорания, что недопустимо в условиях химических производств, нефтегазовой отрасли и других технологических процессов, связанных с обращением летучих веществ. Поэтому разработка сенсоров, способных функционировать при комнатной температуре, является важным направлением исследований, позволяющим существенно повысить безопасность эксплуатации оборудования.

В рамках данной работы была поставлена задача создания чувствительного элемента, способного регистрировать изменения состава окружающей среды без внешнего нагрева. Такой подход позволяет не только снизить энергопотребление устройства, но и полностью исключить риски, связанные с работой при температурах, близких к пределам воспламенения газовых смесей. Дополнительно была разработана высокоточная измерительная система, обеспечивающая корректную регистрацию малых изменений электрических параметров чувствительного слоя. Совокупность этих решений открывает возможность применения сенсоров в условиях повышенной взрывоопасности, где использование традиционных высокотемпературных датчиков ограничено или вовсе невозможно. Реализация низкотемпературного режима работы делает такие сенсоры перспективными для внедрения в современные системы промышленной автоматизации, ориентированные на повышение безопасности и снижение эксплуатационных затрат.

Литературный обзор. Согласно стандартам, максимальная температура поверхности электрического оборудования не должна превышать температуру воспламенения опасных газов, присутствующих в окружающей среде. Однако как в научных исследованиях, так и на коммерческом рынке рабочая температура

некоторых сенсоров приближается к температуре воспламенения водорода. Ученые изготовили водородный сенсор на основе тонкой плёнки SnO_2 с рабочей температурой 550 °C (Mohammed et.al., 2025). Также был разработан водородный сенсор на основе тонкой плёнки ZnO с оптимальной рабочей температурой 400 °C (Kim et.al., 2024) создали сенсор на основе нанотрубок ZnO , также имеющий оптимальную рабочую температуру 400 °C.

Сенсор TGS2616-C01 компании Figaro демонстрирует отклик на водород в диапазоне 14–100 ppm при рабочем напряжении 5 В (430 °C, 280 мВт) (Yao et.al., 2016). Сенсор GGS 6530 T компании Umwelt Sensor Technik имеет отклик 14–100 ppm при рабочем напряжении 3,5 В (475 °C, 460 мВт) (Kumar et.al., 2024). Сенсор MQ-8 компании Winsen показывает отклик 4–100 ppm при рабочем напряжении 5 В (≤ 950 мВт) (Choi et.al., 2007; Tang et.al., 1997).

В настоящее время существует два основных направления снижения рабочей температуры и повышения чувствительности сенсоров. Первое оптимизация газочувствительных материалов на этапе их синтеза. Второе применение вспомогательных устройств, таких как ультрафиолетовые источники, для повышения чувствительности. Многие исследователи добились значительных результатов. Например, в данной работе ученые использовали оксид индия-олова (ИТО), снизив оптимальную рабочую температуру сенсора до 400 К (127 °C) (Yoo et.al., 1995). Однако при этой температуре отклик на 1000 ppm водорода составил всего 1,6. Cheng и др. изготовили полупроводниковый сенсор на основе оксидов олова, палладия и лантана, способный работать при комнатной температуре, но его отклик на 1 % водорода составляет около 0,9 (Cheng et.al., 2022). Pathak и др. синтезировали ZnO , легированный палладием, и получили отклик 39,2 на 0,1 % (100 ppm) водорода при комнатной температуре (Dini et.al., 2023; Kang et.al., 2022; Song et.al., 2005).

Материалы и методы.

Плёнки оксида олова были получены методом спрей-пиролиза на стеклянной подложке при температуре 400 °C. В качестве прекурсоров использовали три различные пленкообразующие системы на основе $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$: раствор в этаноле, гидрозоль и их смесь, что позволило варьировать условия формирования плёнки и контролировать морфологию осаждённого материала. Каждая из систем обеспечивала различную динамику распада аэрозольных капель и гидролиза прекурсора, что отражалось на однородности покрытия, размере зерен и степени кристалличности полученных слоёв.

Для всестороннего анализа структуры и свойств плёнок применяли комплекс современных методов. Морфология поверхности и особенности микроструктуры изучались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), позволяющей оценить распределение частиц, плотность плёнки и наличие дефектов. Кристаллическая структура исследовалась методом рентгеновской дифракции, что позволило определить фазовый состав, степень кристалличности и предпочтительную ориентацию кристаллитов. Оптические свойства плёнок анализировались методом спектрофотометрии в широком диапазоне длин волн,

что дало возможность оценить коэффициенты пропускания и поглощения, а также определить ширину запрещённой зоны. Чувствительность плёнок к воздействию водяных паров оценивалась путём измерения изменения электрического сопротивления четырёхзондовым методом, обеспечивающим высокую точность и исключающим влияние контактных сопротивлений. Все образцы имели одинаковую толщину 500 ± 15 нм, что позволило корректно сравнивать их структурные, оптические и сенсорные характеристики между собой.

Источник стабилизированного тока был реализован на основе операционного усилителя OP1 и выходного биполярного транзистора T1. Регулирование рабочего режима осуществлялось переменным резистором R5 номиналом 10 кОм. Выход операционного усилителя соединялся с базой транзистора через резистор R3 сопротивлением 12 кОм, ограничивающий базовый ток, а цепь отрицательной обратной связи включала резистор R4 номиналом 1 кОм. Операционный усилитель обеспечивал сравнение опорного напряжения с сигналом обратной связи и управлял базовым током транзистора, поддерживая заданный электрический режим чувствительного элемента. При выборе ОУ учитывались диапазон синфазного входного напряжения, напряжение смещения, входной ток, спектральная плотность напряженческого и токового шума, полоса единичного усиления, скорость нарастания выходного напряжения и допустимый выходной ток. Однако конкретная модель использованного ОУ, марка транзистора и их паспортные шумовые характеристики в настоящей работе не были зафиксированы, что является ограничением представленного описания экспериментальной установки.

Результаты и обсуждение.

Измерение параметров газовых сенсоров требует высокой точности и стабильности, поскольку изменение сопротивления чувствительного слоя при воздействии целевых газов обычно составляет лишь доли процента. Даже минимальные колебания внешних условий или шумы измерительной аппаратуры могут исказить результат, что особенно критично при исследовании высокоомных материалов. В настоящей работе в качестве чувствительных элементов использовались тонкие плёнки оксида олова, сформированные методом спрей-пиролиза на стеклянной подложке. Такие плёнки обладают выраженной чувствительностью к парам воды при комнатной температуре, что делает их перспективными для разработки низкотемпературных сенсоров влажности, не требующих встроенного нагревателя и отличающихся низким энергопотреблением.

Однако отсутствие подогрева чувствительного элемента приводит к существенному увеличению сопротивления плёнки — значения достигают сотен кОм и могут превышать 1 МОм. Работа с такими высокими сопротивлениями значительно усложняет задачу точного измерения, поскольку традиционные методы регистрации, основанные на простых делителях напряжения или токозадающих схемах, оказываются недостаточно надёжными. Основные ограничения связаны с нестабильностью тока, влиянием паразитных

сопротивлений соединительных проводов, дрейфом нуля, а также шумами измерительной цепи, которые становятся сопоставимыми с полезным сигналом. Дополнительную сложность создаёт ограниченная разрядность стандартных АЦП, не позволяющая корректно регистрировать малые относительные изменения сопротивления на фоне большого базового значения.

Поэтому в данном разделе отчёта особое внимание уделено разработке прецизионной измерительной схемы, оптимизированной для работы с высокоомными сенсорными элементами. В качестве ключевого компонента выбран 16-разрядный аналого-цифровой преобразователь ADS1115, обладающий программируемым усилением, низким уровнем собственных шумов и высокой чувствительностью. Его использование позволяет регистрировать малые изменения сопротивления с высокой точностью даже при значительных базовых значениях. Кроме того, была создана комплексная система сбора, обработки и визуализации данных, включающая программные алгоритмы фильтрации шумов, автоматическую калибровку измерительных каналов и построение временных зависимостей в реальном времени. Такой подход обеспечивает надёжную и воспроизводимую регистрацию характеристик сенсоров, что является необходимым условием для последующего анализа их чувствительности, стабильности и динамики отклика.

Разработка измерительной системы была структурирована поэтапно, что позволило последовательно решить ключевые инженерные задачи:

1. Сравнение методов стабилизации тока питания сенсора.

Были рассмотрены различные подходы к формированию стабильного тока, включая резистивный токозадающий элемент и аналоговый источник тока на операционном усилителе.

2. Реализация четырёхпроводной схемы измерения.

Такой метод позволяет полностью исключить влияние сопротивления проводов и контактных соединений, что особенно важно при работе с сопротивлениями порядка сотен килоОм.

3. Анализ источников шумов и разработка методов их фильтрации.

Были исследованы тепловые шумы, шумы входного тока ОУ, электромагнитные наводки и собственный шум АЦП, а также предложены аппаратные и программные методы их подавления.

4. Разработка программного обеспечения для микроконтроллера и ПК.

Создана система, обеспечивающая сбор данных, их первичную обработку, визуализацию и запись в файл.

Для измерения сопротивления газового сенсора была разработана схема на базе 16-разрядного АЦП ADS1115. Измерительная часть реализована по четырёхпроводной структуре (рисунок 1), включающей:

- пару проводов для подачи стабилизированного тока на сенсор,
- пару проводов для съёма дифференциального напряжения, которое затем оцифровывается ADS1115 и передаётся в микроконтроллер.

Такой подход обеспечивает высокую точность измерений, поскольку падение

напряжения на проводах и контактах не влияет на результат.

Методы стабилизации тока

1. Стабилизация на резисторе известного номинала (рисунок 1a)

Ток через сенсор определяется выражением:

$$I = \frac{V_{ref}}{R_{set}}$$

где, I – ток через датчик, V_{ref} – опорное напряжение, R_{set} – задающий резистор.

Преимущество этого метода заключается в его конструктивной простоте и минимальных требованиях к элементной базе. Однако его существенным недостатком является необходимость подбора и замены резистора R_{set} при переходе к другому диапазону сопротивлений сенсора, что ограничивает универсальность и гибкость измерительной системы.

2. Аналоговый источник тока на операционном усилителе (рисунок 1b)

В этой схеме ток нагрузки определяется падением напряжения на малом резисторе R_s :

Операционный усилитель сравнивает опорное напряжение V_{ref} с напряжением обратной связи, пропорциональным току нагрузки. За счёт отрицательной обратной связи он изменяет базовый ток транзистора до выполнения условия $V_{fb} \approx V_{ref}$. Если ток измеряется по резистору R_s , то его установившееся значение определяется выражением

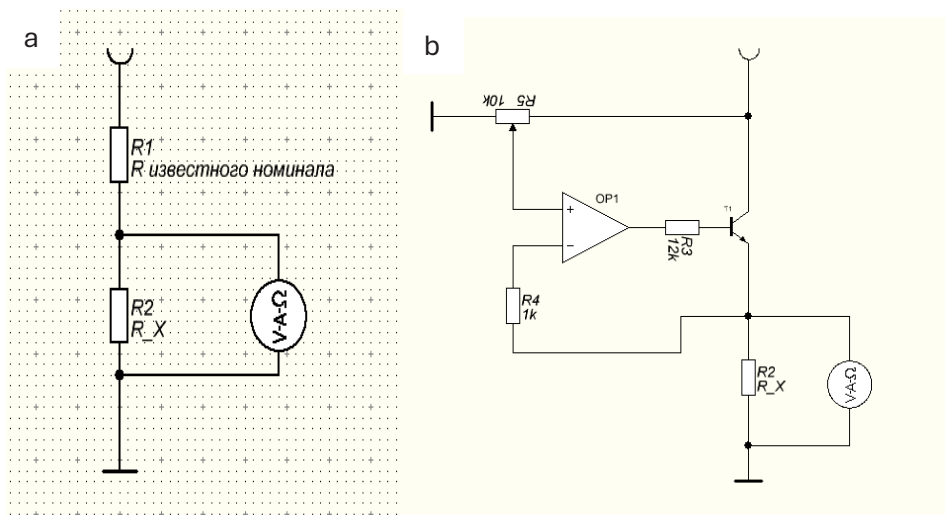
$$I_{set} = \frac{V_{ref}}{R_s}.$$

Максимальное сопротивление нагрузки определяется напряжением соответствия:

$$R_{load,max} \leq \frac{V_{sup} - V_{headroom} - V_{CE,min}}{I_{set}},$$

где $V_{headroom}$ включает необходимый запас выходного напряжения ОУ и падение напряжения на токозадающем резисторе.

Преимущество метода заключается в том, что ток остаётся постоянным независимо от изменения сопротивления сенсора, что особенно важно при работе с газовыми сенсорами, сопротивление которых может изменяться в десятки раз.



а) на резисторе известного номинала; б) аналоговый источник тока на операционном усилителе

Рисунок 1 — Схемы методов стабилизации тока

На рисунке 1б резистор R_4 включён последовательно со входом ОУ и ток не измеряет. В таком виде ОУ фактически стабилизирует напряжение на R_x , а ток определяется как:

$$I = \frac{V_{ref}}{R_x}$$

Результаты сравнения методов стабилизации приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Сравнительная таблица методов стабилизации

Параметр	Резистор	Источник тока на ОУ
Простота реализации	высокая	средняя
Гибкость настройки тока	низкая	высокая
Стабильность тока	средняя	высокая
Зависимость от сопротивления сенсора	большая	малая
Точность при малых сопротивлениях	низкая	высокая

Реализация измерительной системы.

Подключение к ADS1115.

Для измерений используется дифференциальный режим:

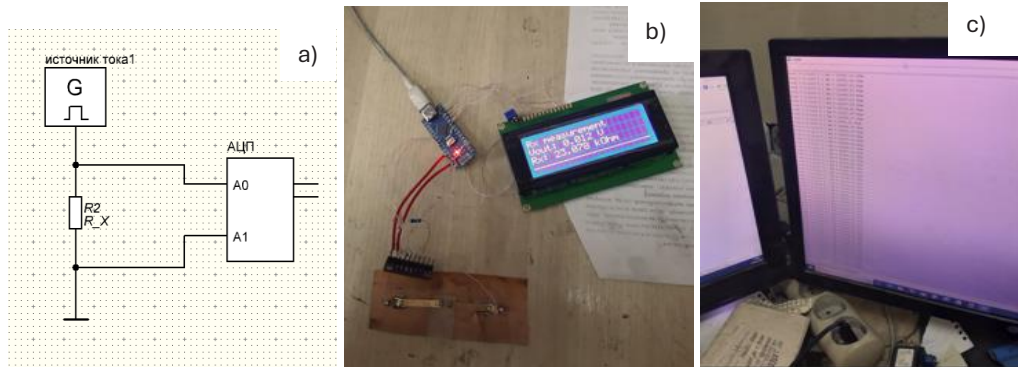
- каналы А0–А1 → сенсор №1
- каналы А2–А3 → сенсор №2

Измеряемое напряжение:

$$U_{\text{meas}} = I \cdot R_{\text{sensor}}$$

где R_{sensor} – сопротивление газового сенсора.

Схематическое представление реализованной системы приведено на рисунке 5.6.



а) схема; б) фотография реализации схемы; в) вывод данных на ПК

Рисунок 2 — Схема четырёхпроводной схемы измерения

Следующим этапом работы стал детальный анализ шумов, возникающих при измерении высокоомных датчиков, и разработка методов их подавления. При работе с сопротивлениями порядка сотен килом и выше уровень шумов становится сопоставимым с полезным сигналом, поэтому корректная идентификация источников шумов и выбор адекватных методов фильтрации являются критически важными.

Основные источники шумов

1. Тепловой (Джонсон–Найквист) шум резисторов

Тепловой шум обусловлен хаотическим тепловым движением электронов в проводнике. Его среднеквадратичное значение описывается выражением:

$$v_n = \sqrt{4kTRB}$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, R – сопротивление, B – полоса пропускания. Для высоких сопротивлений (например, 100 кОм) тепловой шум становится значительным, так как он растёт пропорционально корню из сопротивления. Это фундаментальный физический предел, который невозможно устранить, но можно уменьшить, снижая полосу частот или температуру.

При температуре 298 К спектральная плотность теплового напряжения сопротивления 100 кОм составляет

$$e_{n,R} = \sqrt{4kTR} \approx 40,6 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$$

Среднеквадратичное напряжение в полосе B определяется как $u_{n,R} = e_{n,R} \sqrt{B}$. Например, в полосе 10 Гц оно составляет приблизительно 0,13 мкВ.

2. Шум, связанный с входным током операционных усилителей. Входной ток ОУ создаёт дополнительное шумовое напряжение:

$$v_{n,I} = I_n * R$$

где I_n - плотность шумового тока. При больших сопротивлениях даже малые шумовые токи (порядка фемтоампер/ $\sqrt{\text{Гц}}$) приводят к заметному шумовому напряжению. Поэтому для высокоомных датчиков критически важно использовать ОУ с минимальным входным током и низким токовым шумом.

3. Электромагнитные наводки (50 Гц, радиочастотные помехи). Высокоомные цепи обладают высокой чувствительностью к внешним электромагнитным полям. Наводки сети 50 Гц, импульсные блоки питания, радиочастотные источники создают паразитные колебания, которые могут проявляться как периодические или широкополосные шумы. Эти шумы не являются внутренними, но часто доминируют при плохом экранировании или длинных проводах.

4. Собственный шум АЦП ADS1115

ADS1115 имеет собственный шум квантования и шум входного тракта. При низких частотах и высоком разрешении ($\text{PGA} \times 16$) шум может достигать десятков микровольт.

Этот шум определяет нижний предел чувствительности системы.

Для разработки программного обеспечения, обеспечивающего управление измерительным процессом и визуализацию поступающих данных, была выбрана среда Hiasm. Такой выбор обусловлен рядом её преимуществ: высокой скоростью создания графических интерфейсов, встроенной поддержкой работы с COM-портом, наличием удобных компонентов для построения графиков в реальном времени, а также минимальными требованиями к вычислительным ресурсам персонального компьютера.

Архитектура разработанной программы в Hiasm построена по модульному принципу, что обеспечивает гибкость, масштабируемость и удобство сопровождения. В состав системы входят следующие ключевые компоненты: модуль работы с COM-портом, обеспечивающий приём данных от микроконтроллера; модуль парсинга, выполняющий обработку входящих строк измерений; графический модуль, отвечающий за построение графиков сопротивления и температуры в реальном времени; модуль записи данных, позволяющий сохранять результаты измерений в файл; а также пользовательский интерфейс, обеспечивающий управление процессом измерений и настройку параметров.

Функциональные возможности программы включают визуализацию данных в реальном времени, запись измерений в формате CSV, мониторинг температурных параметров датчиков, выполнение базовой статистической обработки данных и экспорт результатов в различные форматы. Такой набор функций делает систему

удобным инструментом для проведения длительных экспериментальных серий и последующего анализа.

Для проверки работоспособности программно-аппаратного комплекса был сформирован испытательный стенд, включающий набор прецизионных резисторов номиналами 100 Ом, 1 кОм, 10 кОм и 100 кОм с точностью 0,1%, термостат для поддержания стабильных условий окружающей среды, эталонный мультиметр Keysight 34461A для проведения сравнительных измерений, а также источник питания GW Instek GPS-3303. Испытания проводились при температуре $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительной влажности $45\% \pm 5\%$ и длительности непрерывной работы 24 часа. При использовании биполярного транзистора необходимо учитывать дробовой шум базового тока:

$$i_{n,B} = \sqrt{2qI_B}, \quad I_B \approx \frac{I_C}{\beta}.$$

Его эквивалентный вклад на сопротивлении источника оценивается выражением

$$e_{n,B} \approx i_{n,B} R_X.$$

Рабочий ток коллектора транзистора выбирается с учётом сопротивления источника и зависимости параметров шума транзистора от I_C , приведённой в технической документации производителя.

Результаты тестирования источника тока при различных нагрузках представлены в таблице 2 и подтверждают корректность функционирования измерительной системы, стабильность работы программного обеспечения и соответствие полученных данных эталонным значениям.

Таблица 2 — Тестирование источника тока при различных нагрузках

Сопротивление нагрузки	Заданный ток	Измеренный ток	Отклонение
100 Ом	1.000 мА	0.998 мА	-0.20%
1 кОм	1.000 мА	0.999 мА	-0.10%
10 кОм	1.000 мА	1.001 мА	+0.10%
100 кОм	1.000 мА	0.997 мА	-0.30%

Анализ шумов и стабильности измерительной системы проводился в рамках длительного 24-часового теста при подключении нагрузки 100 кОм. Целью испытаний было оценить долговременную стабильность выходного тока, уровень дрейфа измеряемого сопротивления, а также характер и амплитуду шумовых колебаний сигнала в условиях непрерывной работы. Такой тест позволяет выявить скрытые нестабильности, связанные как с аппаратной частью (источник тока, АЦП, температурные влияния), так и с программными компонентами, включая корректность обработки данных и устойчивость алгоритмов фильтрации.

В ходе эксперимента регистрировались мгновенные значения сопротивления,

температура датчиков и статистические параметры сигнала. Особое внимание уделялось оценке кратковременных шумов (высокочастотные флуктуации), медленного дрейфа (низкочастотные изменения, связанные с температурой и стабильностью источника тока), а также возможным скачкообразным отклонениям, которые могут свидетельствовать о нарушениях связи или ошибках парсинга данных.

Результаты 24-часового теста при сопротивлении 100 кОм представлены в таблице 3. Они демонстрируют стабильность работы источника тока и низкий уровень шумов, что подтверждает корректность выбранной архитектуры системы и надёжность программного обеспечения. Полученные данные также позволяют определить диапазон допустимых отклонений при дальнейших измерениях и служат основой для последующей оптимизации алгоритмов фильтрации и компенсации дрейфа.

Таблица 3 — Анализ шумов и стабильности

Параметр	Значение	Примечания
Среднее значение	10.05 кОм	-
Стандартное отклонение	0.82 Ом	$\pm 0.008\%$
Дрейф за 24 часа	+1.2 Ом	$+0.012\%$
Пик-пик размах шума	3.5 Ом	$\pm 0.035\%$

Проведённые исследования подтвердили, что разработанная измерительная система на базе АЦП ADS1115 обеспечивает высокую метрологическую надёжность и воспроизводимость результатов. В ходе испытаний установлено, что относительная погрешность измерений не превышает 0,5% в широком диапазоне сопротивлений от 100 Ом до 1000 кОм, что соответствует требованиям, предъявляемым к аппаратуре для исследования газовых сенсоров и других высокочувствительных измерительных устройств. Длительный 24-часовой тест показал удовлетворительную стабильность выходных параметров, отсутствие значимого дрейфа и низкий уровень шумов, что свидетельствует о корректной работе как аппаратной части, так и алгоритмов обработки данных.

Использование четырёхпроводной схемы подключения в сочетании с источником тока на операционном усилителе позволило минимизировать влияние паразитных сопротивлений проводников и контактных соединений, обеспечив высокую точность измерений даже при больших номиналах нагрузки. Программное обеспечение, реализованное в среде Hiasm, продемонстрировало устойчивую работу в условиях длительного непрерывного сбора данных. Интерактивный интерфейс, функции мониторинга и визуализации в реальном времени, а также встроенные средства анализа делают систему удобной для оператора и пригодной для проведения длительных экспериментальных серий.

Заключение. Проведённое исследование позволило решить комплексную научно-техническую задачу, включающую разработку чувствительного элемента, способного функционировать при комнатной температуре, а также создание высокоточной измерительной системы для регистрации малых изменений

сопротивления газовых сенсоров. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что тонкие плёнки оксида олова, сформированные методом спрей-пиролиза, демонстрируют выраженную чувствительность к парам воды без необходимости внешнего нагрева. Это делает их перспективными для применения в низкотемпературных сенсорах влажности и газов, особенно в условиях, где использование традиционных высокотемпературных датчиков ограничено требованиями безопасности.

Разработанная измерительная система, основанная на аналого-цифровом преобразователе ADS1115, показала высокую точность, стабильность и воспроизводимость результатов. Применение четырёхпроводной схемы подключения в сочетании с источником тока на операционном усилителе позволило существенно снизить влияние паразитных сопротивлений и обеспечить корректное измерение высоких сопротивлений, достигающих сотен килОм. Проведённый анализ шумов выявил основные факторы, ограничивающие точность регистрации, что дало возможность внедрить эффективные методы их подавления: аппаратную фильтрацию, оптимизацию частоты дискретизации и программные алгоритмы сглаживания сигнала.

Длительные испытания продолжительностью 24 часа подтвердили устойчивость работы системы, отсутствие значимого дрейфа и низкий уровень шумов. Погрешность измерений не превышала 0,5% во всём исследуемом диапазоне сопротивлений, что соответствует требованиям, предъявляемым к оборудованию для анализа газовых сенсоров и других высокочувствительных устройств. Это свидетельствует о корректности выбранных технических решений и надёжности разработанной методики.

Созданное программное обеспечение в среде Hiasm обеспечило удобный интерфейс для оператора, визуализацию данных в реальном времени, автоматическую запись результатов и базовую статистическую обработку. Такой функционал делает систему пригодной не только для проведения длительных экспериментальных исследований, но и для практического применения в лабораторных и промышленных условиях, где требуется стабильный мониторинг параметров чувствительных элементов.

References

- Sharma A., Tomar M., Gupta V. (2011) SnO₂ thin film sensor with enhanced response for NO₂ gas at lower temperatures. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 156(2). — P. 743-752. DOI:10.1016/j.snb.2011.02.033 (in Eng.).
- Brunet E., Maier T., Mutinati G.C., Steinhauer S., Köck A., Gspan C., Grogger W. (2012) Comparison of the gas sensing performance of SnO₂ thin film and SnO₂ nanowire sensors. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 165(1). — P. 110-118. DOI:10.1016/j.snb.2012.02.025 (in Eng.).
- Kaur J., Roy S.C., Bhatnagar M.C. (2007) Highly sensitive SnO₂ thin film NO₂ gas sensor operating at low temperature. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 123(2). — P. 1090-1095. DOI:10.1016/j.snb.2006.11.031 (in Eng.).
- Zhao J.T., Guo X.M. (2025, March) Investigation on Resistance Accuracy Improvement of SnO₂ Gas Sensor for Recognition Mixed Gases. In *TMS Annual Meeting & Exhibition*. — P. 1011-1020). Cham: Springer Nature Switzerland. DOI:10.1007/978-3-031-80748-0 (in Eng.).

Mohammed K.S., Alzanganawee J., Kamil A.A. (2025) A novel approach to low-temperature gas sensing using sol-gel spin-coated (NiO: ZnO: SnO₂) thin films for NO₂, H₂S, and NH₃ detection. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 115(2). — P 688-712. DOI:10.1007/s10971-025-06848-9. (in Eng.).

Kim T., Kim H.D. (2024) The superior response and high reproducibility of the memristor-integrated low-power transparent SnO₂ gas sensor. *Micromachines*, 15(12). — P. 1411. DOI:10.3390/mi15121411 (in Eng.).

Yao M.S., Tang W.X., Wang G.E., Nath B., Xu G. (2016) MOF thin film-coated metal oxide nanowire array: significantly improved chemiresistor sensor performance. *Advanced materials*, 28(26). — P. 5229-5234. DOI:10.1002/adma.201506457 (in Eng.).

Kumar A., Barala S., Kumar M. (2024) Effect of noble metal on CuO/SnO₂ heterostructures thin films for H₂S gas. *IEEE Sensors Journal*, 24(12). — P. 18835-18843. DOI:10.1109/JSEN.2024.3396383. (in Eng.).

Choi Y.H., Hong S.H. (2007) H₂ sensing properties in highly oriented SnO₂ thin films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 125(2). — P. 504-509. DOI:10.1016/j.snb.2007.02.043 (in Eng.).

Tang Z., Jiang G., Chan P. C., Sin J. K., Lau S. S. (1997). Theory and experiments on rf sputtered tin oxide thin-films for gas sensing applications. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 43(1-3). — P. 161-164. DOI:10.1016/S0925-4005(97)00204-9 (in Eng.).

Yoo K.S., Cho N.W., Son H.S., Jung H.J. (1995) Surface morphology and gas-sensing characteristics of SnO₂-x thin films oxidized from Sn films. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 25(1-3). — P. 474-477. DOI:10.1016/0925-4005(95)85101-1 (in Eng.).

Cheng H., Liu W., Chen R., Tan B., He M., Zhang R., Yuan Z. (2022) WS₂ gas sensor based on photothermocatalytic effect for ammonia detection with high response. *IEEE Sensors Journal*, 22(24). — P. 23610-23619. DOI:10.1109/JSEN.2022.3220824. (in Eng.).

Dini P., Saponara S., Colicelli A. (2023) Overview on battery charging systems for electric vehicles. *Electronics*, 12(20). — P. 4295. DOI:10.3390/electronics12204295 (in Eng.).

Kang X., Deng N., Yan Z., Pan Y., Sun W., Zhang Y. (2022) Resistive-type VOCs and pollution gases sensor based on SnO₂: A review. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 138. — P. 106246. DOI:10.1016/j.mssp.2021.106246. (in Eng.).

Song K.D., Bang J.I., Lee S.R., Lee Y.S., Hong Y.H., Lee D.D. (2005) NO_x gas response characteristics of thin film mixed oxide semiconductor. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 108(1-2). — P. 211-215. DOI:10.1016/j.snb.2004.11.066. (in Eng.).

**Publication Ethics and Publication Malpractice
in the journals of the «Central Asian Academic Research Center» LLP (Almaty)**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Requirements for articles design for publication in the journal are available on the websites:

www.nauka-nanrk.kz

<http://chemistry-technology.kz/index.php/en/arhiv>

ISSN 2518-1491 (Online), ISSN 2224-5286 (Print)

*Managing Editor: A.Shormakova
Editors: D.S. Alenov, T. Apendiev
Computer layout: G.D. Zhadyranova*

Signed for print: September 23, 2026

Format: 70×90 1/16. 24.0 printed sheets. Order No. 3