



CENTRAL ASIA SCIENCE REVIEW

INTERNATIONAL, MULTIDISCIPLINARY,
PEER-REVIEWED JOURNAL

Volume 1 (1)
August 2025

Central Asia Science Review (CASR) (Registration
No KZ52VPY00119179, issued by the Committee of
Information of the Ministry of Culture and
Information of the Republic of Kazakhstan on
13.05.2025 in Astana)

Central Asia Science Review

An international, multidisciplinary, peer-reviewed journal

Volume 1 (1)
August 2025

Copyright ©2025 by Academic Bilim Research Centre

All rights reserved. The journal is licensed under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0). For information on subscriptions visit www.casrjournal.com or contact us at editor@casrjournal.com

Editorial Team

Editor-in-Chief: **Meiramgul Saiymova**, PhD, Associate Professor, Zhubanov University

Executive Editor: **Nurzhan Abdirazakov**, PhD Candidate, Alanya Alaaddin Keykubat University, Turkiye, MSc., University of Surrey, United Kingdom

Technical Editor: Elnara Isataykyzy, Director, Academic Research Centre, Almaty, Kazakhstan

Editorial board

Raigul Doszhan, PhD, Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University

Ahmadreza Sheikhi, Assistant Professor, Narxoz University, Ph.D., University of La Laguna (ULL), Spain

Doszhan Baybokonov, PhD, Senior Lecturer, School of Business, Sichuan Univesity, China

Karim Huseyn Zada, PhD Candidate, Baku State University, Azerbaijan

Nurbolat Nyshanbayev, PhD, MSc. of The University of Queensland, Australia

Zhassulan Kushebayev, Senior Lecturer, PhD Candidate, MSc. of University of Surrey, UK

Zhumataeva Zeynep Nayatullaevna, Associate Professor of the Kazakh Language Department, Candidate of Pedagogical Sciences, Nazarbayev University

Sergeeva Aigul Maksatovna, Associate Professor, Candidate of Geographical Sciences, Zhubanov University

Alma Sailaukyzy, PhD, TV producer, Editor, Adjunct Assistant Professor, MNU

Adilova Kultai Agytayevna, Candidate of Sciences in Law, Chief Academic Officer of the Center for Educational Sciences and Social Development, National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

Abdikarimova Madina Nurbulatovna, Doctor PhD in Tourism, International University of Tourism and Hospitality

Nakhipbekova Symbat Abdraimkyzy, Doctor PhD in Tourism, Director of School of Tourism, International University of Tourism and Hospitality

Tasimova Aislu Akhmadievna, Associate Professor of the Department of Pedagogy and Psychology, West University

**Central Asia Science Review (CASR)
(Registration No KZ52VPY00119179, issued
by the Committee of Information of the
Ministry of Culture and Information of
the Republic of Kazakhstan on 13.05.2025 in Astana)**

About the Journal

Central Asia Science Review covers a broad spectrum of disciplines to foster interdisciplinary dialogue and innovation. By integrating diverse fields of science, technology, humanities, and business, the journal provides a comprehensive platform for researchers, practitioners, and policymakers to share groundbreaking discoveries and actionable insights. This inclusive approach allows for the exploration of complex challenges and opportunities across various domains, driving progress and sustainable development in Central Asia and beyond.

CONTENT

<i>About the Journal</i>	3
МАТЕМАТИКА САБАҒЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ	5
PEDAGOGICAL PORTRAIT OF A KAZAKH LANGUAGE INSTRUCTOR IN A NEW DIGITAL REALITY	11
УГЛЕРОДНЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ БЛОКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА	19
ТӨРТ ҚАЛАҚШАЛЫ SAVONIUS ТІК-ОСЬТІ ЖЕЛ ТРУБИНАСЫНЫҢ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ӨНІМДІЛІГІН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ	28
СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ИНТЕГРАЛДЫ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН ЕРЕКШЕЛІГІ БАР КОШИ ЕСЕБІ	35

МАТЕМАТИКА САБАҒЫНДА ОҚУШЫЛАРДЫҢ ФУНКЦИОНАЛДЫҚ САУАТТЫЛЫҒЫН ДАМУДАҒЫ ЦИФРЛЫҚ ҚҰРАЛДАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ТӘСІЛДЕРІ

Аннотация

Зайтжанова Арайлым,
«Математика мұғалімдерін даярлау»
мамандығы бойынша докторант

 <https://orcid.org/0009-0008-5674-8225>

SDU UNIVERSITY, Қазақстан
Республикасы
arazitjanova@gmail.com

Сыдыхов Бахыт,
педагогика ғылымдарының докторы,
доцент.

 <https://orcid.org/0000-0003-3404-2914>

SDU UNIVERSITY, Қазақстан
Республикасы
bakhyt.sydykhov@sdu.edu.kz

Қазіргі білім беру жүйесінде оқушылардың алған білімін өмірлік жағдаяттарда қолдана алу қабілетін қалыптастыру басты міндеттердің біріне айналып отыр. Бұл талап функционалдық сауаттылықты дамыту қажеттілігін арттырады. Әсіресе, қашықтан және цифрлық оқыту кең өріс алған заманда, білім беруде цифрлық құралдарды орынды әрі мақсатты қолдану мұғалімдердің кәсіби құзыреттілігінің маңызды бөлігіне айналды. Сондықтан цифрлық технологиялардың оқыту мазмұнымен үйлесімді кіріктірілуі – білім берудің сапасын арттырудың өзекті шарты болып табылады. Бұл мақалада 7–8-сыныптарға арналған математика пәні бойынша оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытуда цифрлық құралдарды тиімді қолдану жолдары қарастырылады. Зерттеу барысында GeoGebra, Desmos, Google Forms, Kahoot, Quizizz, LearningApps сияқты платформалардың оқу процесіне ықпалы сипатталып, олардың әрқайсысының оқушы дағдысын қалыптастырудағы рөлі талданды. Цифрлық технологиялардың оқушының логикалық ойлауын, ақпаратты талдауы мен шешім қабылдау қабілетін дамытудағы маңызы нақты мысалдар арқылы көрсетілді. Сонымен қатар, функционалдық тапсырмалардың үш негізгі түрі – PISA-форматты есептер, жағдаяттық тапсырмалар және қолданбалы есептер мазмұндық және әдістемелік тұрғыдан жіктеліп, оларды цифрлық форматта жүзеге асырудың тиімді тәсілдері ұсынылды. Мақалада отандық және халықаралық тәжірибелерді салыстыру негізінде педагогикалық ұсыныстар берілді.

Түйін сөздер: функционалдық сауаттылық, цифрлық құралдар, математикалық модельдеу, оқу мотивациясы, PISA есептері, қашықтан оқыту, педагогикалық әдістер

КІРІСПЕ

Қазіргі заманғы білім беру жүйесінің трансформациялануы, цифрлық технологиялардың қарқынды дамуы және қоғамның әлеуметтік-экономикалық сұраныстары білім алушылардың функционалдық құзыреттіліктерін қалыптастыру мәселесін алдыңғы қатарға шығаруда. Әсіресе, жаратылыстану-математикалық бағыттағы пәндерде оқушының тек теориялық білімді меңгеруі жеткіліксіз, оның алған білімін өмірлік жағдаяттарда қолдана алу, логикалық ойлау, деректерді талдау және математикалық модельдеу секілді дағдылары жүйелі түрде дамыту қажет. Осы тұрғыдан алғанда, функционалдық сауаттылық – заманауи білім беру парадигмасының негізгі индикаторларының бірі болып табылады.

Халықаралық деңгейде жүргізілетін PISA (Programme for International Student Assessment) зерттеулерінің нәтижелері білім беру жүйесінің тиімділігін тек білім сапасы арқылы емес, білім алушылардың оны қолдану қабілетімен бағалау қажеттігін дәлелдеді. Қазақстанның бұл зерттеуге қатысуы отандық білім жүйесіндегі бірқатар мәселелерді айқындап, оқыту мазмұнын жаңартуға түрткі болды. Әсіресе, математикалық сауаттылық деңгейіндегі олқылықтар оқушылардың функционалдық ойлау қабілетін дамытуда жүйелі тәсілдердің жеткіліксіз екенін көрсетеді. Сонымен қатар, білім беру процесінде цифрлық технологиялардың кеңінен қолданылуы оқыту әдістемесін жаңаша ұйымдастыруға мүмкіндік береді. Қашықтан және аралас форматтағы оқыту жағдайында оқушылардың математикалық сауаттылығын арттыруда интерактивті платформалар, бейнетапсырмалар, онлайн тестілер мен визуалды модельдеу құралдары тиімді педагогикалық әдіске айналууда. Алайда бұл құралдарды мақсатты түрде қолдану үшін арнайы әдістемелік тәсілдер мен педагогикалық жобалауды қажет етеді.

Осы мақалада цифрлық құралдардың математикалық білім мазмұнына интеграциялану үдерісі мен олардың функционалдық сауаттылықты қалыптастырудағы рөлі теориялық және әдістемелік тұрғыдан қарастырылады. Зерттеу барысында қазіргі педагогикада қолданылатын цифрлық ресурстардың мүмкіндіктері сараланып, оқушының білімін өмірмен байланыстыруға бағытталған тиімді тәсілдер талданады. Сонымен қатар, оқу мотивациясы мен дербестік қабілеттілігін арттыруда бұл құралдардың ықпал ету тетіктері де зерделенеді.

Білім беру жүйесінде функционалдық сауаттылық ұғымының алатын орны жыл санап артып келеді. Оның маңыздылығы оқушылардың алған білімдерін өмірлік жағдаяттарда тиімді қолдана алу қабілетімен анықталады. Бұл ұғымның теориялық негіздері А.А. Леонтьевтің еңбектерінде психолінгвистикалық контексте сипатталып, адамның әлеуметтік ортада тілдік және когнитивтік ресурстарын қолдану қабілетімен байланыстырылған (Леонтьев, 2003).

Заманауи білім беру зерттеулері бұл ұғымды кеңейтіп, оны оқушының мәселелерді шешудегі практикалық әрекеттерімен тікелей байланыстырады.

Функционалдық сауаттылықты бағалаудың халықаралық стандарты ретінде PISA зерттеулері танымал. OECD (2019) материалдарында функционалдық сауаттылық – бұл ақпаратты түсіну, қолдану, талдау, түсіндіру және ой қорыта алу қабілеттерінің жиынтығы ретінде сипатталады. Бұл зерттеу құрылымы оқушылардың тек теориялық білімін емес, сол білімді шынайы өмірлік жағдаяттарда қолдану қабілетін бағалауға бағытталған. Қазақстандағы зерттеулер де осы бағытты қолдай отырып, PISA форматына бейімделген тапсырмаларды оқу процесіне енгізу қажеттігін алға тартады (Назарбаев Зияткерлік мектептері, 2020).

Мұндай тәсілді жүзеге асыруда цифрлық технологиялар маңызды рөл атқарады. Әсіресе математикалық пәндерде ақпаратты визуализациялау, модельдеу және өзара әрекеттесу мүмкіндіктерін кеңейту арқылы цифрлық құралдар оқушының ойлау қабілетін белсендіруге ықпал етеді. Қойгелдиев (2022) GeoGebra мен Desmos тәрізді платформалардың функционалдық есептерді шешудегі қолданбалы маңызын атап өтсе, Сейтқазина (2021) цифрлық платформалардың оқу мотивациясын арттырып, оқушылардың өздігінен білім алуына мүмкіндік беретінін дәлелдейді.

Бұл тұжырымдар қашықтан оқыту жағдайындағы педагогикалық тәжірибемен де үндеседі. COVID-19 пандемиясы кезеңінде қашықтан оқытуға жаппай көшу мұғалімдерді жаңа технологиялық шешімдерді қолдануға итермелейді. Ермекова (2020) зерттеуінде Google Classroom секілді платформаларда ұйымдастырылған функционалдық тапсырмалар оқушылардың дербес және шығармашылық әрекетін ынталандырғанын көрсетеді. UNESCO (2020) баяндамасында да цифрлық оқыту – білім алудағы теңдік пен қолжетімділікті қамтамасыз етудің маңызды жолы ретінде қарастырылады.

Осы орайда, мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігі мен педагогикалық тәсілдерді цифрлық құралдармен ұштастыру қабілеті негізгі шарт ретінде алға шығады. Лунегова (2022) өз еңбегінде мұғалімдердің оқушылардың функционалдық дағдыларын қалыптастыру үшін қандай тапсырмаларды қолдануы керектігін нақты мысалдармен ұсынады. Бұл идеялар Назарбаев Зияткерлік мектептерінің әдістемелік нұсқауларында да көрініс табады: мұғалім – тек білім беруші емес, цифрлық технологияны оқыту процесіне тиімді кіріктіретін жобалаушы болуы тиіс (НЗМ, 2020).

Осылайша, оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамыту – кешенді педагогикалық міндет. Бұл үдерісте цифрлық құралдардың әлеуетін тиімді пайдалану, мұғалімнің әдістемелік даярлығы және халықаралық бағалау құрылымдарын ескере отырып оқу мазмұнын бейімдеу – біртұтас жүйе ретінде қарастырылуы тиіс.

МАТЕРИАЛДАР МЕН ӘДІСТЕР

Зерттеу сипаттамалық-әдістемелік сипатта жүргізілді және оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытуда қолданылатын цифрлық құралдарды педагогикалық тұрғыдан тиімді пайдаланудың әдістерін талдауға бағытталды. Зерттеу мақсатына сәйкес, мазмұндық талдау, салыстырмалы сипаттама қолданылды. Зерттеу нысаны ретінде Қазақстан Республикасындағы жалпы білім беретін мектептерде 7–8-сыныптарда оқытылатын математика пәні алынды. Мазмұнды талдау барысында оқу бағдарламаларында, оқу-әдістемелік кешендерде (ОМЖ, ҚМЖ), және мұғалімдердің тәжірибелік сабақтарында қолданылатын тапсырмалардың типтері мен құрылымы қарастырылды.

Сонымен қатар, функционалдық сауаттылыққа бағытталған тапсырмалар жүйесін талдау кезінде PISA-форматты есептер, жағдаяттық тапсырмалар, және қолданбалы есептердің ерекшеліктері ескерілді.

Зерттеу барысында келесі цифрлық құралдардың функционалы талданды:

- GeoGebra – математикалық модельдеу, графиктер құру, функцияларды талдау;
- Desmos – динамикалық графикалық тапсырмалар жасау;
- Google Forms – онлайн форматта тест алу, формативті бағалау;
- Kahoot / Quizizz – интерактивті білімді бекіту;
- Google Classroom – оқу тапсырмаларын ұйымдастыру және кері байланыс орнату.

Аталған цифрлық құралдар оқу процесінде оқушылардың логикалық ойлауын, ақпаратты талдау қабілетін, дербес шешім қабылдауын, және тұжырым жасау біліктілігін дамыту үшін пайдаланылды. Зерттеуде нақты оқу мазмұнынан алынған тапсырмалар мысалға алынып, олардың цифрлық форматтағы қолдану тиімділігі сипатталды.

Сонымен қатар, контент-талдау әдісі арқылы отандық және шетелдік зерттеулердегі цифрлық оқытудың педагогикалық аспектілері сарапталды. Бұл әдіс авторлық әдістемелерді салыстырып, олардың күшті және әлсіз жақтарын айқындауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында алынған ақпараттар мен мысалдар сипаттамалық тұрғыда жүйеленіп, оларды тиімді қолданудың педагогикалық тәсілдері ұсынылды. Мақсат – тек технологияны қолдану емес, оны функционалдық құзыреттілікті қалыптастыруға бағытталған мазмұнмен үйлестіру.

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Зерттеу нәтижесінде цифрлық құралдарды қолданудың оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытуда айтарлықтай әлеуетке ие екені анықталды. Әдебиеттерге және сабақ үдерісіндегі нақты бақылауларға сүйене отырып, төмендегі педагогикалық аспектілер жүйеленді:

Кесте 1: Математикада қолданылатын цифрлық платформалар

Құрал атауы	Қолдану мақсаты	Функционалдық дағдыны дамыту
GeoGebra	Функция графигін құру, координаттық геометрия	Математикалық модельдеу, визуализация, қорытынды жасау
Google Forms	Қашықтан форматта бағалау, өзіндік тесттер	Ақпаратпен жұмыс, дерекке негізделген шешім қабылдау
Kahoot / Quizizz	Қызығушылықты арттыру, жылдам бақылау	Жылдам ойлау, уақытпен жұмыс, логикалық талдау
Desmos	Жоғары сыныптарға арналған интерактивті графиктер	Аналитикалық ойлау, функцияны зерттеу
LearningApps	Математикалық терминдерді бекіту, сәйкестендіру	Танымдық белсенділік, есте сақтау, құрылымдау дағдылары

Бүгінгі таңда білім беру сапасы оқушылардың тек теориялық білім деңгейімен емес, сол білімді шынайы өмірлік жағдаяттарда қолдана алу қабілетімен өлшенеді. Осы тұрғыдан алғанда, функционалдық сауаттылыққа бағытталған тапсырмалар жүйесі – оқушының білімді тәжірибеде қолдану дағдысын дамытудың негізгі құралы. Зерттеу барысында осы типтегі тапсырмалардың үш негізгі түрі сараланып, олардың мазмұндық және әдістемелік ерекшеліктері төмендегідей сипатталды:

1. PISA-форматты есептер

Ерекшелігі:

PISA үлгісіндегі тапсырмалар – халықаралық бағалау стандарттарына негізделген, нақты өмірлік жағдаяттармен байланыстырылған, күрделілігі әртүрлі деңгейдегі көпқадамды есептер. Олар оқушыдан есепті шешу үшін тек формуланы қолдануды емес, **ақпаратты түсіну, талдау, салыстыру, шешім қабылдау және дәлелдеу** дағдыларын талап етеді.

Мысал:

«Көлікпен жүру құны екі тарифпен есептеледі. А бекеті мен В бекетінің арақашықтығы 18 км. Бір тариф бойынша: $400\text{Т} + 50\text{Т}/\text{км}$. Екінші тариф бойынша: $300\text{Т} + 70\text{Т}/\text{км}$. Қай тариф тиімді?»

Бұл есеп тек арифметика емес, **үлгілеу мен салыстыру** қабілетін дамытады.

2. Жағдаяттық тапсырмалар

Ерекшелігі:

Жағдаяттық тапсырмалар оқу мазмұнын шынайы өмірмен тікелей байланыстыруға негізделеді. Бұл типтегі тапсырмалар көбіне **қоғамдық, экономикалық, тұрмыстық немесе технологиялық жағдайларды** сипаттап, оқушыдан логикалық пайым, пікір айту, таңдау жасау секілді әрекеттерді талап етеді.

Мысал:

«Айдана сауда орталығына барды. Онда бірдей аяқ киім екі дүкенде әртүрлі бағамен сатылып жатыр: бірінде – 10% жеңілдікпен, екіншісінде – 15% жеңілдік, бірақ бастапқы бағасы жоғары. Айданаға қай дүкен тиімді?»

Бұл тапсырма оқушыдан **пайыздық есеппен қоса, экономикалық тиімділікті бағалау мен шешім қабылдау қабілетін** талап етеді.

3. Қолданбалы есептер

Ерекшелігі:

Қолданбалы есептер нақты пәндік мазмұнды (математика, физика, география және т.б.) өмірлік контекспен ұштастырады. Мұндай есептер көбінесе **өлшеу, уақыт, жылдамдық, пропорция, масштаб** сынды ұғымдармен байланысты болады. Олар оқушының математикалық ұғымдарды қолдану арқылы күнделікті мәселелерді шешу дағдысын дамытады.

Мысал:

«Саябақтың макеті 1:200 масштабпен салынған. Егер жолдың ұзындығы макетте 7.5 см болса, саябақтағы нақты жолдың ұзындығы қандай?»

Бұл есеп нақты математикалық білімді өмірмен байланыстыруға бағытталған.

Салыстырмалы сипаттама

Кесте 2: Салыстырмалы сипаттама

Критерий	PISA-форматты есептер	Жағдаяттық тапсырмалар	Қолданбалы есептер
Негізгі мақсат	Функционалдық құзыреттілікті бағалау	Шынайы жағдаятты шешу	Пәндік білімді қолдану
Дағды түрі	Талдау, дәлелдеу, шешім қабылдау	Бағалау, пікір айту, таңдау жасау	Формуламен есептеу, түсіндіру
Қиындық деңгейі	Орташа – жоғары	Орташа – жоғары	Бастапқы – орташа
Пәнаралық байланыс	Жоғары	Орташа – жоғары	Төмен – орташа
Қолданылатын құралдар	Google Forms, PISA банк	Kahoot, Google Docs	GeoGebra, Desmos

ҚОРЫТЫНДЫ

Жүргізілген зерттеу нәтижелері цифрлық құралдарды педагогикалық мақсатта жүйелі әрі тиімді қолдану – оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамытуда маңызды рөл атқаратынын көрсетті. Әсіресе, 7–8-сыныптарға арналған математика пәнінде қолданылатын GeoGebra, Desmos, Google Forms, Kahoot, Quizizz, LearningApps сияқты платформалар оқу материалын визуализациялап, оқушы белсенділігін арттырып қана қоймай, логикалық ойлау, ақпаратты талдау, шешім қабылдау секілді функционалдық дағдыларды дамытуға мүмкіндік береді (НЗМ ДББҰ, 2021). Функционалдық сауаттылықты дамытуға бағытталған тапсырмалар құрылымына жүргізілген талдау олардың үш негізгі түрге бөлінетінін көрсетті:

1. PISA-форматты есептер – халықаралық бағалау талаптарына сәйкес келетін, өмірмен тығыз байланысты, жоғары деңгейдегі ойлауды қажет ететін есептер;
2. Жағдаяттық тапсырмалар – оқушыны өмірлік жағдайға ендіре отырып, логикалық пайым мен дәлелдеу арқылы шешім қабылдауға бағыттайды;
3. Қолданбалы есептер – пәндік білімді практикамен байланыстырып, шынайы өмірде қолдануға үйретеді (Қабдықайырова, А. Ж, 2020).

Осы тапсырмаларды орындау барысында қолданылатын цифрлық құралдардың әрқайсысының ерекшелігі айқындалды. Мәселен, GeoGebra функцияларды зерттеуге және математикалық модельдеуге жағдай жасаса, Desmos – динамикалық графиктер арқылы аналитикалық ойлауды дамытады. Google Forms – қашықтан тестілеу мен деректерге негізделген бағалауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Kahoot және Quizizz – оқыту үдерісіне геймификация элементтерін енгізу арқылы қызығушылықты арттырады. Ал LearningApps арқылы танымдық белсенділік пен есте сақтау қабілеті дамытылады (Tondeur et al., 2017).

Зерттеу барысында контент-талдау әдісі арқылы отандық және шетелдік тәжірибелер салыстырылып, цифрлық оқытудағы тиімді әдістемелер сараланды. Бұл өз кезегінде цифрлық құралдарды жай ғана қолдану емес, оларды функционалдық құзыреттілікке бағытталған мазмұнмен ұштастыра отырып қолданудың маңыздылығын көрсетеді.

Білім беру сапасын бағалаудың басты өлшемі – оқушының алған білімін нақты өмірлік жағдаяттарда тиімді қолдана білуі. Осы тұрғыдан алғанда, цифрлық құралдар функционалдық сауаттылықты дамытуда тиімді педагогикалық тетік бола алады. Алдағы уақытта бұл бағыттағы зерттеулерді тереңдетіп, цифрлық платформаларды оқу бағдарламаларына жүйелі түрде интеграциялау – білім беру мазмұнын жаңғыртудың өзекті міндеттерінің бірі болып қала бермек.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ермекова, А. Р. (2020). *PISA тапсырмаларына негізделген математика есептері*. Астана: Ұлағат.
2. Қабдықайырова, А. Ж. (2020). Функционалдық сауаттылықты дамытудағы есептердің рөлі. *Білім берудегі инновациялар*, 2(12), 45–52.
3. Қойгелдиев, А. (2022). *Математика және өмір: Функционалдық есептер жинағы*. Талдықорған: Мектеп.
4. Леонтьев, А. А. (2003). *Основы психолингвистики*. Москва: Смысл.
5. Назарбаев Зияткерлік мектептері ДББҰ. (2021). *Цифрлық білім беру құралдары: Математика пәніне арналған әдістемелік нұсқаулық*. Астана: НЗМ.
6. OECD. (2019). *PISA 2018 results (Volume I): What students know and can do*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5f07c754-en>
7. Seitbekova, G. (2024). Methodological and theoretical foundations for assessing the functional literacy of students in mathematics. *Scientific Herald of Uzhhorod University. Series Physics*, (56), 1553–1561. <https://doi.org/10.54919/physics/56.2024.155rg3>
8. Сейтказина, С. Ж. (2021). *Қашықтан оқытудағы педагогикалық тәсілдер*. Алматы: Білім.
9. Khranova, L., Lobanova, O., Shmulskaya, L., Firer, A., & Efits, O. (2022). Analysis of conceptual approaches to the definition of the concept of "functional literacy". *Amazonia Investiga*, 11(55), 297–305. <https://doi.org/10.34069/AI/2022.55.07.31>
10. Шумейко, Т. С., & Божевольная, Н. В. (2023). Методология разработки учебного пособия по развитию технического творчества с использованием дистанционных технологий. *Вестник КазНПУ имени Абая. Серия: Педагогические науки*, 79(3), 76–90. <https://doi.org/10.51889/2959-5762.2023.79.3.008>
11. Tondeur, J., van Braak, J., Ertmer, P. A., & Ottenbreit-Leftwich, A. T. (2017). Understanding the relationship between teachers' pedagogical beliefs and technology use in education: A systematic review of qualitative evidence. *Educational Technology Research and Development*, 65(3), 555–575. <https://doi.org/10.1007/s11423-016-9481-2>

PEDAGOGICAL APPROACHES TO THE USE OF DIGITAL TOOLS IN DEVELOPING STUDENTS' FUNCTIONAL LITERACY IN MATHEMATICS LESSONS

Zaitzhanova Arailym,
PhD student in the specialty "Mathematics Teacher Training"

 <https://orcid.org/0009-0008-5674-8225>
SDU UNIVERSITY, Республика Казахстан
araizaitzhanova@gmail.com

Sydykhov Bakhyt,
Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor.

 <https://orcid.org/0000-0003-3404-2914>
SDU UNIVERSITY, Republic of Kazakhstan
bakhyt.sydykhov@sdu.edu.kz

Abstract

In the modern education system, one of the main objectives is to develop students' ability to apply the knowledge they have acquired in real-life situations. This requirement highlights the necessity of fostering functional literacy. Especially in an era where distance and digital learning are widespread, the purposeful and effective use of digital tools has become an essential component of teachers' professional competence. Therefore, the integration of digital technologies into the content of education in a coherent manner is a crucial condition for improving the quality of education. This article explores effective ways of using digital tools to develop functional literacy in mathematics among 7th–8th grade students. The study describes the impact of platforms such as GeoGebra, Desmos, Google Forms, Kahoot, Quizizz, and LearningApps on the learning process, and analyzes the role of each in shaping students' skills. The importance of digital technologies in developing students' logical thinking, information analysis, and decision-making abilities is illustrated through specific examples. Furthermore, three main types of functional tasks—PISA-format problems, situational tasks, and applied problems—are classified from both content and methodological perspectives, and effective approaches to implementing them in digital format are proposed. Based on a comparison of national and international practices, the article provides pedagogical recommendations.

Keywords: functional literacy, digital tools, mathematical modeling, learning motivation, PISA tasks, distance learning, pedagogical methods.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ В РАЗВИТИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ГРАМОТНОСТИ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ МАТЕМАТИКИ

Зайтжанова Арайлым,
докторант по специальности «Подготовка учителей математики»

 <https://orcid.org/0009-0008-5674-8225>
SDU UNIVERSITY, Republic of Kazakhstan



Аннотация

В современной системе образования одной из главных задач становится формирование у учащихся способности применять полученные знания в жизненных ситуациях. Это требование усиливает необходимость развития функциональной грамотности. Особенно в эпоху, когда дистанционное и цифровое обучение получили широкое распространение, целесообразное и целенаправленное использование цифровых инструментов становится важной частью профессиональной компетентности учителей. Поэтому гармоничная интеграция цифровых технологий в содержание обучения является актуальным условием повышения качества образования. В данной статье рассматриваются пути эффективного использования цифровых инструментов для развития функциональной грамотности учащихся по предмету «Математика» в 7–8 классах. В ходе исследования описано влияние таких платформ, как GeoGebra, Desmos, Google Forms, Kahoot, Quizizz, LearningApps на учебный процесс, а также проанализирована роль каждой из них в формировании навыков учеников. Значимость цифровых технологий в развитии логического мышления учащихся, умения анализировать информацию и принимать решения была показана на конкретных примерах. Кроме того, были классифицированы с содержательной и методической точки зрения три основных вида функциональных заданий – задачи формата PISA, ситуационные задания и прикладные задачи, и предложены эффективные способы их реализации в цифровом формате. На основе сопоставления отечественного и международного опыта даны педагогические рекомендации.

Ключевые слова: функциональная грамотность, цифровые инструменты, математическое моделирование, учебная мотивация, задачи PISA, дистанционное обучение, педагогические методы.

PEDAGOGICAL PORTRAIT OF A KAZAKH LANGUAGE INSTRUCTOR IN A NEW DIGITAL REALITY

Abstract

Gulnara Omarbekova
Associate Professor
Nazarbayev University, Kazakhstan
gulnara.omarbekova@nu.edu.kz

The criterion for the quality of professional and pedagogical training is the professional competence of the instructor, which most fully reflects the entire range of requirements imposed by society and the state on a specialist of the 21st century. The modern instructor is a humanist with positive and flexible thinking. They are called to "sow the reasonable, good, eternal", as well as hundreds of years ago, since "the well-being of the whole people depends on the right education" (D. Locke).

This article aims to develop a portrait of a Kazakh language instructor in the digital environment, the carrier of digital competencies of an instructor-practitioner of the 21st century, based on a survey. Quantitative (questionnaire) and qualitative (survey, interview) methods were used during the empirical study. The study involved 21 instructors from the Department of the Kazakh Language and Turkic Studies. The conducted empirical study made it possible to supplement the instructor's professiogram profile with practice-oriented skills during the pandemic. The novelty of the presented research lies in developing a portrait of an instructor in a digital educational environment, updated by the transition to online learning in the pandemic and after.

Although distance education is a well-established system in the education system of Kazakhstan, the situation with COVID-19 has created serious challenges for online learning and problems that need to be addressed urgently. Kazakh language instructors redesigned, reconsidered, and replanned the educational environment in an online format. As a result, the portrait of an instructor of the digital environment as a carrier of ICT competence, actively using online learning formats in the difficult conditions of a pandemic, was enriched. Now, one can use the online professional competence of an instructor in blended learning.

Key words: pedagogical portrait, a Kazakh language instructor, a digital educational environment, blended learning.

INTRODUCTION

"A good instructor is more important to me than anything else because the instructor is the heart of the school," said Ybyrai Altynsarin, who was the most prominent Kazakh educator of the late 19th century, during the period of Russian colonization and cultural influence in Kazakhstan. He is best known for introducing the transition from the Persian-Arabic alphabet to the Cyrillic alphabet for the Kazakh language and was a proponent of teaching in the Western style. His words remain significant and worthy in our century of technology and of the speedy time of globalization.

The history of distance education in Kazakhstan. According to UNESCO, the COVID-19 pandemic has caused the largest disruption in education systems ever, affecting almost 1.6 billion students in more than 190 countries.

The closure of schools and other educational institutions affected 94% of the world's contingent of schoolchildren and students. At the same time, there was a noticeable spread in distance learning enrollment: in high-income countries, distance learning covered approximately 80%-85% of students, while in low-income countries, this figure was below 50%, according to the ranking. kz.

Such critical disparities are largely due to the digital divide, including low Internet access in poor countries, where more traditional means such as radio and TV have been used instead of the Internet. In Kazakhstan, coronavirus restrictions have affected schools more than in other Central Asian countries, the EAEU, as well as some European countries, including developed ones. Therefore, the schools of the Republic of Kazakhstan were closed for a record 11 months and 3 weeks, of which almost 2.5 months - completely closed, 8 months and 3 weeks - partially. Accordingly, the load on the infrastructure due to distance learning in the Republic of Kazakhstan was noticeably higher than in other countries. [https://otyrar.kz/2021/10/shkolniki-v-kazahstane-uchilis-na-udalynke-dolshe-chem-v-evrope-icaes/].

Distance learning involves the use of high technology. Lectures are attended online. Most of the learning process is self-training. Every year, distance learning becomes more and more popular in Kazakhstan. Online learning is just one type of "distance learning" - a general term for any learning that takes place at a distance rather than in a traditional classroom. This is a form of organizing distance learning for students with the help of modern technical means and information and communication technologies. In terms of the amount of information needed for assimilation, laboratory, practical, and written work, this form of higher education is in no way inferior to full-time.

Distance learning has no more than two decades in Kazakhstan, and when introducing information and communication

technologies into the educational process, educators introduced the following results within that period:

- Creation of educational-methodical electronic complexes on their subjects, the opening of methodical thematic websites;
- Use of public computer networks;
- Creation of software sites and tools using innovative methods in the programming environment. (Multimedia and hypertext technologies).
- Provision of independent additional education in remote form through the Internet.

The latter has developed very rapidly, especially during the COVID-19 period. Although distance education is a well-established format in the education system of Kazakhstan, the situation with COVID-19 has created serious challenges for online learning and problems that need to be addressed urgently. The Kazakh language instructor of Nazarbayev University (NU) redesigned, reconsidered, and replanned the educational environment in an online format. As a result, the portrait of an instructor of the digital environment as a carrier of ICT competence, actively using online learning formats in the difficult conditions of a pandemic, was enriched.

Who is the instructor of the 21st century? I have searched Google for the question "Who is the instructor of the 21st century" in three languages. According to the results of my searches, a modern progressive instructor seems to be an energetic, educated professional who easily adapts to changes, and who knows their subject and teaching methods very well.

Does the University faculty meet these criteria? After all, both modern students and the reality surrounding us have changed to a significant extent. In the West, these changes began earlier, therefore, the study of new socio-psychological characteristics of the instructor began earlier (Devos, 2010), (Hammama, 2010). As M.V. Nikitin, the "new" instructor should use gadgets to build communication both with the students in the class and with various network groups of different ages (2017: 62–63). The next educator Omirbek Shynybekuly states, that the goal of education in the 21st century is to develop the student's ability to deeply understand the subject, to ensure that he can effectively use the knowledge gained outside of school, in any situation, to master the digital technologies that have entered our lives (Shinibekuli, 2016).

Are educators able to adapt to change? What skills do they have to master, and does everyone succeed? The period of the pandemic has adjusted all spheres of people's lives, including the educational space. Recently, school education has gone completely new level, discovering both the pros and cons of distance learning. How have instructors coped with such rapid changes?

This study aims to answer the question: does a Kazakh language instructor in the digital environment serve as a carrier of digital competencies for a teacher-practitioner in modern education?

Who is the Kazakh language instructor (KLI)? The instructor of the Kazakh language, firstly, is well-versed in the general principles of pedagogy. This is the psychology of students and the basic rules for structuring the material, the execution of related documents, and even the manner of speech that contributes to the assimilation of information. Secondly, such a specialist is distinguished by a deep knowledge of his/her subject, that is, the Kazakh language, and the specifics of teaching this discipline. After all, the study of vocabulary, grammar, and colloquial Kazakh is very different from solving problems in mathematics or studying Physics and continents in geography, even the grammatical structure and the lexical beauty of the language differ from other Turkic languages. After all, teaching a language is always more than a simple application of the elements of the target language. Subject-language integration turns language instructors from a mono-instructor into an instructor of several subject areas at once: natural, social, or human sciences. The list can be supplemented according to the NU Kazakh language program, which covers literature, diplomacy, globalization, business, Civil Service, and Music History. Kazakh language instructors of 300-level courses introduce students not only to the language concept but also to the subject content. As a result, interdisciplinary learning becomes an integral part of the lesson, and you have more opportunities to help students train language skills and broaden their horizons, indirectly helping with the assimilation of language material. As a bonus, regular updating of language and methodological rules that meet the latest requirements and are much more student-oriented.

Materials and methods of research. The purpose of this article is to develop a portrait of a Kazakh language instructor of the digital environment as a carrier of digital competencies of a teacher-practitioner, based on the study. The novelty of the presented research lies in the development of a portrait of a teacher in a digital educational environment, updated by the transition to online learning during the pandemic

The object of study: instructor of the Kazakh language of NU in the digital environment.

Subject of study: a portrait of an instructor of the KL in the digital environment as a carrier of digital competencies in the educational space.

Research objectives:

- to analyze the main problems of KL instructors associated with the forced transition of the educational process to a

remote teaching format;

- to develop the competence map of the KLT teacher in the digital educational environment
- to develop to supplement the KL instructor's professiogram profile with practice-oriented skills in a pandemic.
- to develop recommendations aimed at overcoming the difficulties of organizing the educational process in the online environment and increasing the level of ICT competence of the instructor.

The main research methods include the analysis of scientific and methodological literature, content analysis, and the method of statistical analysis. To confirm the relevance of the characteristics of the professionogram of a modern instructor that we have identified, an empirical study was conducted, during which quantitative (questionnaires, content analysis) and qualitative research methods (survey, interviews, analysis of instructors' creative works) were used.

Literature review. The theoretical basis of the study was scientific publications in the field of developing digital competencies of teachers and analyzing the transition of the education system to distance learning during the pandemic rush time.

In November 2011, the public was presented with the document "The Structure of ICT Competence of Teachers. UNESCO ICT Competency Framework for Teachers. Version 2.0". The UNESCO recommendations emphasize that it is not enough for a modern teacher to be technologically literate and to be able to form the appropriate technological skills and abilities in their students. An instructor is a key figure in a modern school, whose professional qualities and skills directly affect the quality of education. Today, the "instructor-translator of knowledge" should be replaced by an instructor of a new type. The modern teacher must be able to help students use ICTs to successfully collaborate, solve emerging problems, master their learning skills, and ultimately become full-fledged citizens and workers.

What is the current professional profile of an instructor? The problem of the instructor's professionalism is interdisciplinary. Philosophers, psychologists, education management specialists, economists, lawyers, etc., think about the role of an instructor and their professionally significant qualities, and necessary competencies. However, it is primarily interested in pedagogy.

Under the professiogram we will understand the ideal model of a specialist, reflecting the requirements that are imposed on a person by the nature of their professional activity, and the conditions that accompany this activity. Such a model describes the abilities and potentialities of a specialist who wants to achieve positive results in professional activities without compromising health. An analysis of research literature on pedagogy and psychology of foreign researchers (Walter&Briggs, 2012), (Dhingra, 2019), (Kornilova, 2017), as well as conducting our empirical research, allowed us to create a professional model of the KL instructor during COVID-19. An analysis of world trends in the field of education, professional-pedagogical education, indicates the need for higher demands on both pedagogical professionalism and the personal qualities of an instructor. Of course, the teacher must have professional competence, which consists of the totality of professional knowledge, skills, abilities, as well as personal qualities necessary for successful pedagogical activity. Researchers A.P. Tryapitsyna (2010), and T.S. Gavrilov (2012) imply in the structure of professional competence such components as professional knowledge and pedagogical thinking; the unity of the constructive, communicative, and organizational skills of the teacher as a subject of pedagogical activity, his ability to practically use these skills; methodological and technological literacy of the teacher, as well as his values, life experience. Researchers consider the traditional features that make up the portrait of an instructor as a status subject with leadership qualities, retaining the functions of a leader and educator in all situations of everyday classroom and extracurricular communication with students and in the event of conflicts and controversial issues.

Distance learning forced teachers to reorient their learning strategies in a short period, which increased their creative competence, and the information and communication competence of teachers was of relevance during this period. Creative competence is an independent neoplasm, which manifests itself not only in the possession of different abilities for creativity but also in different readiness for the development of these abilities among students. Information and communication competence are of relevance because the teacher works daily with various sources of information and software and methodological complexes, maintains University documentation in electronic form, and periodically carries out remote educational activity. The quality of remote learning depends greatly on the functionality of the learning platforms and tools through which programs are delivered and reflected in the "digital culture" of the teacher (Shinibekuli, 2016), (Gnatyshina, 2019).

Research results and discussion. To identify the main challenges associated with the forced transition to a remote work format, a survey in which twenty-one Kazakh Language and Turkic Studies Department faculty members took part was conducted. Within the research grant objective, which was titled "Preparing Department of Kazakh Language and Turkic Studies for Online Teaching: Pedagogies, Practices and Technological Tools", a survey and an interview were administered to the staff of KazLT at Nazarbayev University. The findings were obtained from the questionnaire and the interview, which served as a research instrument in the project, consisting of a series of questions to gather information from respondents.

The main lesson learned during the COVID-19 pandemic is that teachers play an essential role in ensuring lifelong learning. During the COVID pandemic, teachers and learners were instantly thrown into teaching and learning remotely and figuring out how to maintain and continue effective teaching and learning.

The analysis shows that the COVID-19 pandemic reduces the productivity of teachers. From the questionnaire, it turns out that the main difficulties teachers identified were the increase in the volume of work, the large time spent on preparing educational materials, health problems, the difficulty of communicating with students, the lack of ICT competence, the complexity of organizing the learning process, and several others. In general, all teachers spend at least 3 hours a day preparing a lecture or class, and on average, a teacher spends more than 4 hours checking the work of students every day. This means that the teacher spends 7 hours a day on the teaching part of the workload.

Figure 1: Questionnaire results

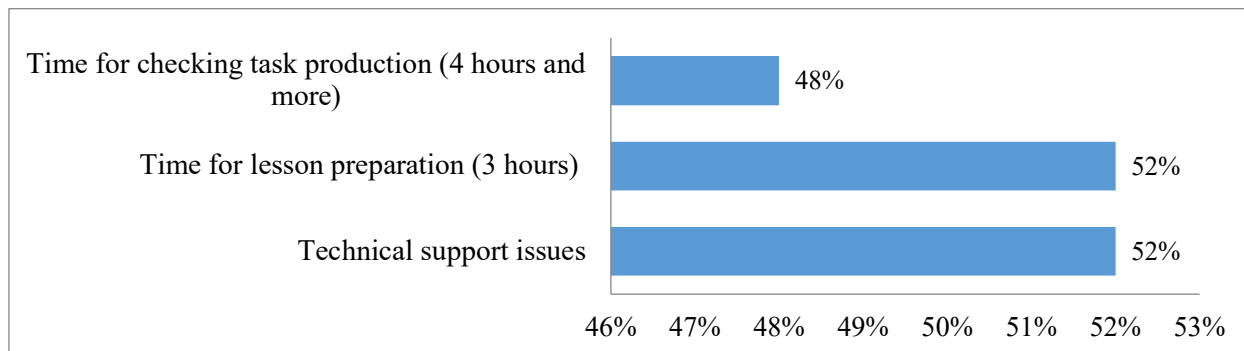
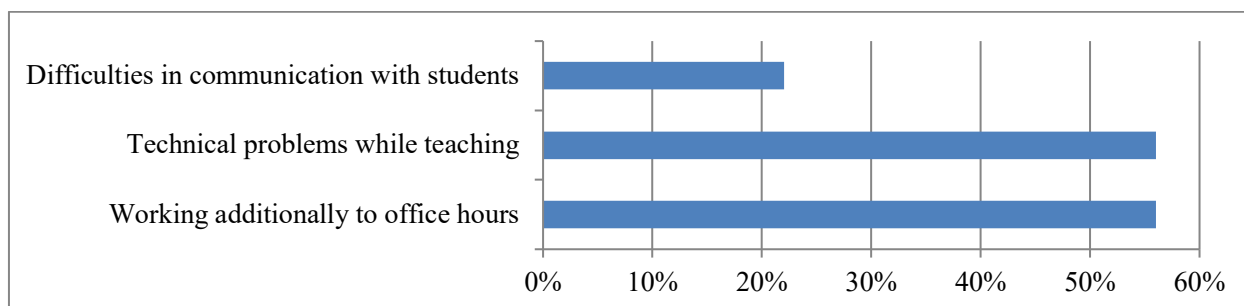


Figure 2: Interview results



In addition, the teacher should be engaged in science and social service work. The role of teachers in improving the quality of education cannot be overemphasized. “They have a huge responsibility”, said Jaime Saavedra, Global Director of Education at the World Bank. “But teachers need the opportunities, motivation, and resources to successfully nurture future leaders, thinkers, and innovators” (Saavedra, 2020).

In the process of correlating the results obtained while interpreting the products of activity with the personal data of the study participants, important correlations were identified that help determine the professional characteristics of a modern teacher. Ten teachers took part in the interview; the interview was conducted remotely on the Zoom platform. Thus, based on the results of a focused interview, reflecting the psychological and pedagogical aspects of the personality of the teacher, a competency map of the KL teacher of the digital educational environment was compiled, which includes groups of individual indicators and competencies in four main blocks: ICT competencies, professional competencies, managerial competencies, and reflective competencies. The main components of the teacher's ICT competencies are presented in Figure 3.

Figure 3: Competence map of the KLT teacher in the digital educational environment

Groups of indicators by blocks	
Block 1. ICT competencies	
	Using a text editor, ChatGPT
	Use of spreadsheets
	Using Presentation Programs: PowerPoint, Google Slides, Sutory.com and Canve.com. etc.
	Using the program to work with video, sound, and graphics

	Use of Internet resources (e-mail, Moodle forums, etc.)
	Creating tests for feedback and formative/summative assessment
	Use of databases, electronic NU library systems
	Use of educational games
	Other resources and technologies (digital encyclopedias and dictionaries, interactive whiteboards, computer modeling technologies, etc.)
	Block 2. Professional competencies
	Preparation of training sessions using ICT tools: Google Drive, Padlet, YouTube, Moodle, Canva.com, Big Blue Button, PlayPosit, ChatJPTetc.
	Conducting office hours using ZOOM, online chat rooms, and Google. Meet, Telegram, etc
	Using ICT to organize student assistance and monitor their development: Moodle, Padlet, Turnitin, Google.forms, Nearpod, etc.
	Organizing virtual online meetings with family, friends, and colleagues
	Block 3. Managerial competencies
	The use of digital technologies in the educational process management system (for example, the use of a timetable, the wheel spinner, etc.)
	Maintaining an electronic journal of students' progress on the MOODLE system (including the rating plan for mastering the subject)
	Using network tools for organizing joint work of students (using special platforms, Internet forums, organizing video conferences, etc.)
	Testing with special software tools: Socrative, Quizzes, Kahoot, Mentimeter, Edmodo, Quizalize, etc.
	Block 4. Reflective competencies
	Possession of techniques for organizing digital information space
	Ability for self-development (passing advanced training courses in this area)
	The ability to organize pedagogical reflection in the network interaction of the subjects of the educational process
	The ability to analyze and evaluate the results of their professional activities, predict development prospects, and draw up a plan for future development

Below are the interview questions with explanations taken from the teacher's answers.

What pedagogical processes have you implemented in your synchronous class meetings to engage your students? How effective have these processes been?

As the first step in planning, the teacher should determine which online activities to do synchronously or asynchronously. From the interview, we found out that the teachers actively implemented some teaching strategies and techniques that helped them create a sustainable and engaging online teaching and learning process, such as reading tasks, writing tasks, and speaking tasks with the help of certain ICT tools in synchronous classes. Live, synchronous interactions included group discussions, using techniques in breakout rooms, problem-solving, low-stakes assessments, polling, or Q&A sessions. In implementing these activities, Zoom Conference, Padlet, Socrative, Kahoot, and Quizalize were effective tools for engaging the students' interest.

What pedagogical processes have you implemented in your asynchronous class meetings to engage your students? How effective have these processes been?

Reading tasks, listening tasks, answers to individual questions, and agree/disagree questions were implemented in asynchronous class meetings using the following ICT tools and programs: Moodle, Turnitin, Google Drive, emails, PlayPosit, etc.

What additional communication strategies have you implemented to increase contact with your students during the COVID-19 pandemic? How effective have these communication strategies been?

For teachers, in the context of the sudden change from onsite to online activities, interpersonal interaction, and communication were severely crippled because of the new mediation provided by specialized devices. Moreover, teachers—and students for that matter—felt uneasy as they interacted for pedagogical purposes. According to Derakhshan et al. (2021), Manea et al. (2020), this situation appears to have been universal because it was reported in educational contexts across the globe.

In such critical moments as the COVID-19 lockdown, distance methods of learning are irreplaceable when it comes to supporting the educational process. Their implementation and use can also have other positive consequences, such as the improvement in students' competence in terms of soft skills, including communication and collaboration capabilities. It has

been proven that supportive teacher-student relationships have a positive impact on class participation, engagement, and ultimately a student's achievements, in online and offline education. Using up-to-date teaching aids such as tools, programs, videos, and online resources is a good way to keep students engaged and reinforce their understanding. It can also increase the effectiveness of teachers' communication with students with different learning styles, who may benefit more from online resources. Teachers state that they try to work some of these aids into their lessons regularly, like Mentimeter, Padlet, Infographics, Nearpod, and others, after COVID-19, in offline teaching.

How have you adapted to the changes in the culture of society because of the COVID-19 pandemic in your educational materials and activities? Seven teachers responded that they adapted teaching materials and classes for online learning, and two left them unchanged.

What changed in your teaching after COVID-19? Will you continue to do even when classes return to in-person? The teachers said they learned how to use some electronic devices and how they relate to specialized online platforms for optimal interaction with students during online classes. They have stated that they will continue to learn new instruments when face-to-face classes return. Five teachers emphasized the need for and importance of offline education.

Digital technologies were adopted by educators, but even the teachers, educators were not ready to use them. in a short time, they had to learn and adjust them to the academic aim of the class. The pandemic prompted teachers to shift, create, and implement online teaching even if they did not feel properly prepared to do so or had little interest in online instruction. A great majority of the teachers who were not interested in online teaching seemed to be coping with and adjusting to the new delivery method of instruction over the traditional face-to-face classes (Dimaculangan, et al., 2021:325). According to Peimani et al. (2021:58), the adaptability of teaching professionals to the reality of online education is crucial for the efficiency and sustainability of internet-based teaching realities. Pedagogical methods and personal perceptions about online education can be changed if teaching professionals are willing to adapt to the complexities of online education; if so, it is reasonable to argue that when online education becomes efficient, it also becomes sustainable in the long run as a valid educational system.

CONCLUSION

The recommendations proposed based on the results of the study are made considering the problematic vision of the teacher's profессиogram by the teachers themselves. When engaged in the purposeful development of teachers' competencies, it is important not to drown in an extensive list of competencies, selecting as priorities those that are most adequate to modern requirements and at the same time realistically realizable.

Distance education, new equipment, but teaching professionals know that they must maintain quality standards. Training is still needed. Teachers must not only be acquainted with electronic devices for better academic performance in online education (during or beyond the COVID-19 pandemic) but also pursue digital formation consistently and regularly. Students want their teachers to be digitally competent, and it would be necessary for all teaching professionals to go through one or more sessions of digital formation, especially because such competence cannot be achieved overnight. All these factors can affect the degree of commitment and engagement of students in didactic activities.

In the wake of the pandemic, teachers, young and old, who do not necessarily have a strong pedagogical knowledge of technology-related strategies, were self-obliged and duty-bound to engage themselves in online teaching. A great majority of the teachers who were not interested in online teaching seemed to be coping with and adjusting to the new delivery method of instruction over the traditional face-to-face classes (Dimaculangan et al.,2021: 325).

A modern educational institution needs a "new formation" teacher who is creative, able to reflect, and knows modern teaching technologies and ways of constructive interaction with students. The teacher must become the bearer of a new morality, a new system of values, and become an authority. At the same time, the transformation of the image of the teacher is obvious: he is no longer just a subject teacher and class teacher; he is a mentor, tutor, and consultant.

Today, it is obvious that the role of the teacher as a spiritual mentor, in which the authority of the teacher must be present, is fading into the background, and the role of the teacher-manager-technologist is coming to the fore. The authority of students will easily be won by the teacher who is fluent in technical means and can present "his product" in electronic form, and students value and respect such teachers as members of the digital age.

Thus, the profессиogram of a modern teacher has transformed: success awaits those teachers who have mastered the technical means, have learned to evaluate the reliability of the information, filter it, work in multitasking mode, and be flexible to the challenges of the new reality. However, the basic qualities of a humane teacher are still relevant and are only supplemented by new formations.

REFERENCES:

- Derakhshan, A., Kruk, M., Mehdizadeh, M., Pawlak, M. 2021. Boredom in online classes in the Iranian EFL context: Sources and solutions. <https://doi.org/10.1016/j.system.102556>
- Devos A. New teachers, mentoring, and the discursive formation of professional identity. *Teaching and Teacher Education*. 2010. No. 26. 1219–1223.
- Dhingra Pawan. 2019. Achieving more than grades: morality, race, and enrichment education. *American journal of cultural sociology*. Vol. 7 (3). 275–298.
- Dimaculangan, N.G.; San Luis, C.P.; Gabitanan, C.G. 2021. Teachers' Self-Assessment of their Online Teaching Readiness and Attitude. *Int. J. Innov. Sci. Eng. Technol.* 8, 325–332.
- Gavrilova T.S. 2012. *Sovremennyy uchitel': vyzovy vremeni* [Modern teacher: challenges of the time]. Universum: Vestnik Gertsenovskogo universiteta. No. 2. 105–108.
- Gnatyshina Ye.V. 2019. *Tsennostno-smyslovyye oriyentiry formirovaniya tsifrovoy kul'tury budushchego pedagoga: monografiya*. – Chelyabinsk: Nauchnyy tsentr RAO, 234.
- Hammana D., Gosselin K., Romano J., et al. 2010. Using possible-selves theory to understand the identity development of new teachers. *Teaching and Teacher Education*. Vol. 26. 1349–1361.
- Kornilova M.V. 2017. Social'nyy portret uchitelya: ideal'naya model' i real'nost' [Social portrait of a teacher: ideal model and reality]. *Nauka cherez prizmu vremeni*. No. 5. 135–144.
- Kuzekbay A. 2020. Kak pandemiya koronavirusa povliyala na obrazovaniye. https://www.inform.kz/ru/kak-pandemiya-koronavirusa-povliyala-naobrazovanie-mneniya-ekspertov_a3667516 (15.08.2022r.)
- Manea, V.I.; Macavei, T.; Pribeanu, C. Stress, 2020. Frustration, boredom, and fatigue in online engineering education during the pandemic. *Int. J. User-Syst. Interact.* 13, 199–214. <http://rochi.utcluj.ro/ijusi/articles/IJUSI-13-4-Manea.pdf>
- Nikitin M.V. 2017. *Upravlenie setevymi obrazovatel'nymi soobshchestvami SPO: ponyatiynyy apparat, gipoteza issledovaniya* [Management of online educational communities of open-source software: conceptual apparatus, research hypothesis]. *Upravleniye v sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh*. No. 26. 62–64.
- Peimani, N.; Kamalipour, H. 2021. Online education and the COVID-19 outbreak: A case study of online teaching during lockdown. *Educ. Sci.*, 11, 72
- Saavedra, Jaime, 2020. *COVID-19 & Education: A World Bank Group Perspective, part I*. <https://www.devex.com/news/jaime-saavedra-there-s-nothing-soft-about-education-reform-93009> (05.08.2022).
- Satova R. K. 2020. Osobennosti organizatsii i planirovaniya distantsionnogo obucheniya v vuzakh RK na period pandemii Covid-19. *Stat'ya, kod dostupa*: <https://online.zakon.kz> (10.08.2022).
- Shkol'niki v Kazakhstane uchilis' na «udalonke» dol'she, chem v Yevrope i YEAES. 2021. <https://otyrar.kz/2021/10/shkolniki-v-kazahstane-uchilis-na-udalyonke-dolshe-chem-v-evrope-i-eaes/>
- Shinibekuli, Ömirbek, 2020. 21-ғасырдың мұғалімі қандай болуы керек? <https://kazbilim.kz/?p=4845>
- Smirnova O. Nenastoyashcheye obrazovaniye. Kak pandemiya vskryla problemy onlayn-obucheniya. 2021. <https://informburo.kz/stati/nenastoyashcheye-obrazovanie-kak-pandemiya-vskryla-problemyonlayn-obucheniya.html> (12.08.2022r.)
- Tryapitsyna A.P. 2020. *Sovremennyy uchitel': informatsiya k razmyshleniyu* [Modern teacher: information for thought]. Universum: Vestnik Gertsenovskogo universiteta. No. 1 (75). 3–11. 17.
- UNESCO ICT Competency Framework for Teachers <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000265721>
- Walter C., Briggs J. 2012. What professional development makes the most difference to teachers? Oxford University, 23 p.

ЖАҢА ЦИФРЛЫҚ ШЫНДЫҚТАҒЫ ҚАЗАҚ ТІЛІ ПЕДАГОГТЫҢ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ ПОРТРЕТІ

Гүлнар Омарбекова

Доцент, Назарбаев Университеті, Қазақстан

gulnara.omarbekova@nu.edu.kz

Аннотация

Кәсіби-педагогикалық даярлықтың сапасының өлшемі – бұл оқытушының кәсіби құзыреттілігі. Ол ХХІ ғасыр маманына қоғам мен мемлекет қоятын талаптардың толық спектрін ең толық бейнелейді. Заманауи оқытушы – ізгілікті, оң және икемді ойлауға қабілетті тұлға. Ол ғасырлар бұрынғыдай «ақылдылықты, ізгілікті, мәңгілікті себуші», өйткені «бүкіл халықтың игілігі дұрыс білім беруге байланысты» (Д. Локк). Бұл мақалада сауалнама негізінде цифрлық ортадағы қазақ тілі оқытушысының бейнесін – ХХІ ғасырдың цифрлық құзыреттеріне ие тәжірибелі педагогтың бейнесін жасау көзделді. Эмпирикалық зерттеу барысында сандық (сауалнама) және сапалық (сұхбат, әңгімелесу) әдістер қолданылды. Зерттеуге Қазақ тілі және түркітану кафедрасының 21 оқытушысы қатысты. Жүргізілген эмпирикалық зерттеу пандемия кезінде оқытушының кәсібиограммасын тәжірибеге бағытталған дағдылармен толықтыруға мүмкіндік берді. Зерттеудің жаңалығы – пандемияға және одан кейінгі кезеңге байланысты онлайн оқытуға көшу арқылы жаңартылған, цифрлық білім беру ортасындағы оқытушының бейнесін қалыптастыруда. Қазақстандағы қашықтан оқыту жүйесі бұрыннан бар болғанымен, COVID-19 жағдайы онлайн оқытуда жедел шешуді қажет ететін күрделі қиындықтар туғызды. Қазақ тілі оқытушылары білім беру ортасын онлайн форматта қайта құруға, қайта қарауға және қайта жоспарлауға мәжбүр болды. Соның нәтижесінде пандемия жағдайындағы күрделі кезеңде онлайн оқыту форматтарын белсенді қолданатын, АКТ құзыреттілігінің иегері ретінде цифрлық орта оқытушысының бейнесі толықтырылды. Қазір аралас оқытуда оқытушының онлайн кәсіби құзыреттілігін қолдануға болады.

Түйін сөздер: педагогикалық портрет, қазақ тілі оқытушысы, цифрлық білім беру ортасы, аралас оқыту.

ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ ПОРТРЕТ ПРЕПОДАВАТЕЛЯ КАЗАХСКОГО ЯЗЫКА В НОВОЙ ЦИФРОВОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Гульнара Омарбекова

Доцент, Назарбаев Университет, Казахстан

gulnara.omarbekova@nu.edu.kz

Аннотация

Критерием качества профессионально-педагогической подготовки является профессиональная компетентность преподавателя, которая наиболее полно отражает весь спектр требований, предъявляемых обществом и государством к специалисту XXI века. Современный преподаватель – это гуманист с позитивным и гибким мышлением. Он призван «сеять разумное, доброе, вечное», как и сотни лет назад, ведь «благополучие всего народа зависит от правильного образования» (Д. Локк).

Цель данной статьи – на основе опроса разработать портрет преподавателя казахского языка в цифровой среде, носителя цифровых компетенций педагога-практика XXI века. В ходе эмпирического исследования были использованы количественные (анкетирование) и качественные (опрос, интервью) методы. В исследовании приняли участие 21 преподаватель кафедры казахского языка и тюркологии. Проведенное исследование позволило дополнить профессиограмму преподавателя практико-ориентированными навыками в период пандемии. Новизна исследования заключается в разработке портрета преподавателя в цифровой образовательной среде, обновленного переходом к онлайн-обучению в условиях пандемии и после нее. Хотя система дистанционного образования в Казахстане давно существует, ситуация с COVID-19 поставила серьезные вызовы перед онлайн-обучением и выявила проблемы, требующие срочного решения. Преподаватели казахского языка были вынуждены перестроить, переосмыслить и перепланировать образовательную среду в онлайн-формате. В результате портрет преподавателя цифровой среды как носителя ИКТ-компетенций, активно использующего онлайн-форматы обучения в сложных условиях пандемии, был обогащен. В настоящее время профессиональная онлайн-компетентность преподавателя может использоваться в условиях смешанного обучения.

Ключевые слова: педагогический портрет, преподаватель казахского языка, цифровая образовательная среда, смешанное обучение.

УГЛЕРОДНЫЕ МНОГОКАНАЛЬНЫЕ БЛОКИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Аннотация

Мұсатай Есенгелді Амангелдіұлы,
PhD докторант 3-го курса,
КазНУ им. аль-Фараби, кафедра
химической физики и
материаловедения

 <https://orcid.org/0000-0002-3735-0886>

Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
esenchon104@mail.ru

Түлепов Марат Изтлеуович, —
кандидат химических наук,
ассоциированный профессор кафедры
химической физики и
материаловедения, факультет химии и
химической технологии

 <https://orcid.org/0000-0002-6449-9571>

Казахский национальный университет
им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
marat.tulepov@kaznu.kz

В работе представлен подход к разработке и исследованию многоканальных фильтрующих блоков на основе углеродно-кремниевых материалов, полученных из рисовой шелухи. Применение термохимических методов карбонизации и физической активации позволило получить материал с развитой макро- и микропористой структурой, высокой удельной поверхностью (до 551 м²/г) и значительным объемом пор. Экспериментально установлены оптимальные режимы термообработки, параметры экструзии и щелочной десицикации, обеспечивающие формирование стабильных углеродных блоков с регулярной многоканальной структурой. Проведён анализ аэродинамических и сорбционных характеристик фильтров, включая пылеемкость, сопротивление потоку и эффективность улавливания частиц различной дисперсности. Полученные результаты подтверждают перспективность разработанных блоков для применения в системах промышленной и экологической фильтрации воздуха, особенно в условиях высоких температур и агрессивных сред.

Научная новизна исследования – заключается в разработке и экспериментальной валидации технологии получения многоканальных углеродно-кремниевых фильтрующих блоков из рисовой шелухи с регулируемой пористостью и высокой эффективностью очистки воздуха.

Ключевые слова: углеродные фильтры, рисовая шелуха, многоканальная структура, карбонизация, пористый материал, очистка воздуха

ВВЕДЕНИЕ

Фильтры на основе углеродных и кремниевых материалов играют важную роль в промышленной очистке газов благодаря способности эффективно работать при высоких температурах и в условиях агрессивных химических сред. Они отличаются высокой механической прочностью, термостойкостью и химической стабильностью. В частности, карбид кремния (SiC) и углеродные нанотрубки (УНТ) находят широкое применение в процессах очистки воздуха и фильтрации газов.

Карбид кремния (SiC) особенно широко используется для фильтрации высокотемпературных газов и пыли благодаря своей исключительной термостойкости и химической инертности. Преимущество керамических фильтров из SiC заключается в их структуре с открытыми порами, которая повышает воздухопроницаемость, однако эта пористость может негативно влиять на механическую прочность. Поэтому при производстве этих фильтров используются специальные связующие вещества, такие как минерал бентонит, для улучшения [1].

Углеродные фильтры, особенно углеродные нанотрубки (УНТ), являются эффективными фильтрующими материалами благодаря большой площади поверхности и отличной проводимости. УНТ характеризуются высокой механической прочностью и химической стойкостью, что позволяет использовать их в фильтрах для очистки воздуха. Фильтры УНТ в основном используются для фильтрации крупной пыли и вредных частиц. Кроме того, структура и свойства углеродных нанотрубок повышают их устойчивость к химическим реакциям, что делает их очень подходящими для использования в специфических условиях, таких как высокие температуры или агрессивные среды [2]. Свойства фильтров на основе кремния и углерода повышают их эффективность в очистке воздуха, но для их надежной работы необходимо выбирать высококачественные материалы, поддерживать их структурную целостность и внедрять технологии, адаптированные к условиям эксплуатации. Углеродные и кремниевые фильтры широко используются в биомедицинских, промышленных и экологических системах.

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Для изготовления фильтра был выбран углеродно-кремниевый материал, полученный карбонизацией оболочки рисовой шелухи. Выбор определился пористостью с высокой удельной поверхностью и объемом пор материала, а также наличием в его составе тонко диспергированных частиц углерода и оксида кремния.

Синтез начинается с карбонизации - термического разложения исходного сырья (пиролиза) при температуре 600-900°C в инертной атмосфере аргона. Данный процесс направлен на удаление летучих компонентов, повышение содержания углерода и кремния, а также формирование материала с развитой пористой структурой и высокой удельной поверхностью. Далее осуществляется активация углеродного материала с использованием окислительных

газов, таких как углекислый газ или водяной пар, при температурах в диапазоне 600-1000°C. Этот процесс способствует удалению аморфного углерода и развитию пористой структуры с улучшенными физико-химическими свойствами. Карбонизация и активация проводились в муфельной печи при температуре от 300 до 900°C в течение 30–120 минут в атмосфере углекислого газа без доступа воздуха. На рисунке 1 представлена опытная установка с производительностью 5 кг/ч, обеспечивающая поэтапное удаление влаги, деполимеризацию и частичное разложение сырья в интервале температур 650–800 °С. В диапазоне температур до 270°C происходит дегидратация, а при 600–850°C - процессы декарбоксилирования и образование пиролизных смол, сопровождающиеся дегидратацией и декарбонилированием [3].

Рисунок 1: Схема термохимического получения углеродных материалов из рисовой шелухи

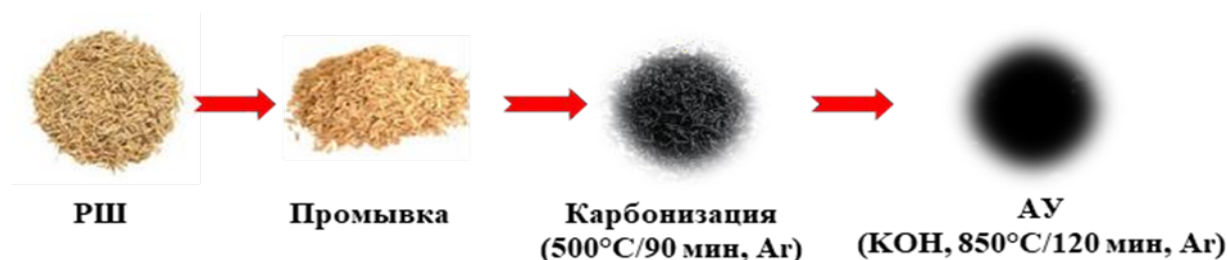
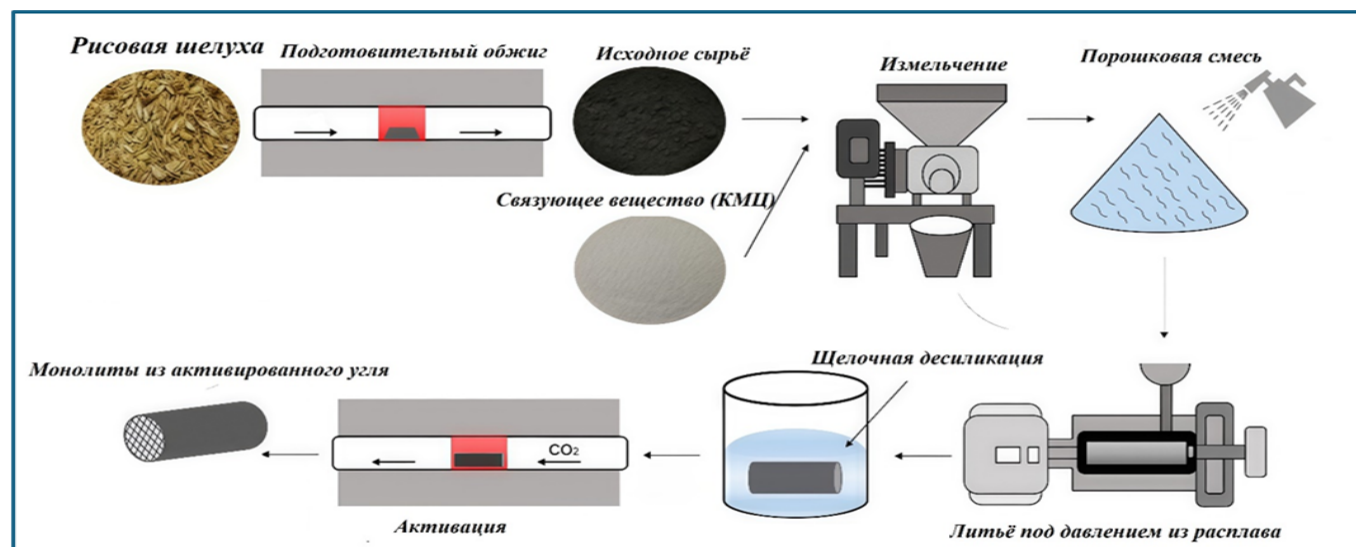


Схема термохимического получения углеродных материалов из рисовой шелухи представлена на первом рисунке [4] и отражает последовательность основных стадий процесса. Исходное сырьё - рисовая шелуха предварительно обрабатывается раствором гидроксида калия для удаления минеральных примесей, затем подвергается дегидратации в вытяжном шкафу. После этого проводится карбонизация в муфельной печи с формированием пористой углеродной структуры.

При повышении температуры активации объёмы мезо и макропор почти линейно увеличиваются при равномерном распределении, а максимальное значение удельной поверхности, определённое методом термодесорбции при физической активации в CO_2 (1 час), достигается при 700°C, при дальнейшем росте температуры вследствие спекания она уменьшается.

Для формования материала в фильтрующие блоки с сотовой структурой выполнен подбор связующего компонента, в качестве которого была применена карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ). Варьируя соотношения карбонизата рисовой шелухи и КМЦ, была получена пластичная масса, пригодная для получения блоков с сотовой структурой методом экструзии. Изделия после формования в экструдере высушивались и подвергались термообработке с целью полной карбонизации. Дальнейшая обработка в кипящем растворе гидроксида натрия проведена для частичной десицикации материала и увеличения объёма пор. При последующей физической активации блоков в среде углекислого газа материал блоков приобрел развитую макро- и микроструктуру с большим объемом пор.

Рисунок 2: Технологическая схема изготовления многоканального углеродного блока.



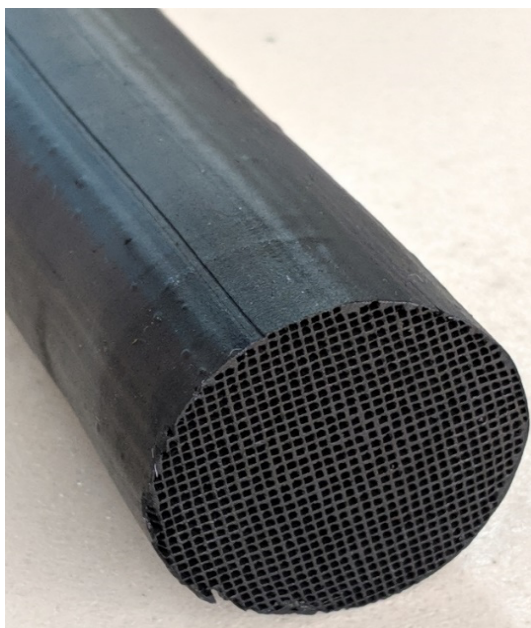
Технологическая схема изготовления многоканального углеродного блока включает последовательную переработку рисовой шелухи, начиная с этапа предварительного обжига для удаления летучих компонентов. Полученное обожжённое сырьё подвергается измельчению и смешиванию со связующим веществом (КМЦ) с образованием однородной порошковой смеси. Далее смесь направляется в установку литья под давлением, где формируется многоканальная структура. Полученные заготовки подвергаются щелочной десицикации с целью удаления кремнезёма, что способствует увеличению удельной поверхности. Заключительным этапом является активация в потоке диоксида углерода, обеспечивающая развитие пористой структуры и получение монолитов из активированного углерода, пригодных для сорбционных или каталитических применений.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1 ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИЛЬТРОВ

Характеристическими показателями любого фильтра являются следующие параметры : рабочая эффективность, представляющая собой отношение количества уловленной пыли к суммарному количеству частиц перед фильтром; минимальный размер фракций частиц, улавливаемый аппаратом полностью; аэродинамическое сопротивление; производительность; максимально допустимая величина аэродинамического сопротивления, которая учитывается при определении времени работы; пылеемкость, количество загрязнений, которые могут быть уловлены фильтром на единицу объема или площади; долговечность. Сейчас на рынке вентиляционной техники представлено множество моделей для воздухопроводов различной формы и сечения [5-6].

Рисунок 3: Многоканальный блок вид с торца.



Блок в разрезе

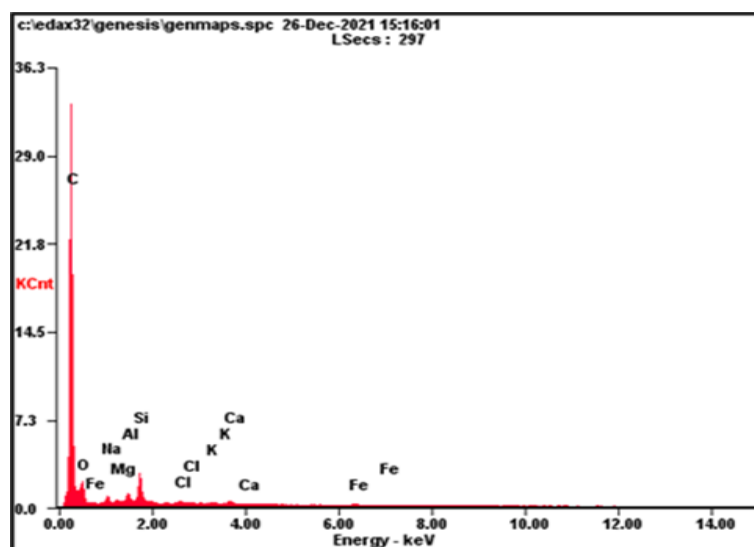


В результате и был получен многоканальный блок со следующими геометрическими размерами - диаметр 48мм. и длиной 120мм. Он пронизан 1000-ю продольных прямоугольных каналов с сечением 1мм^2 . Таким образом контактная поверхность каналов одного блока составила 480000мм^2 или около половины квадратного метра (рисунок 3).

На рисунках 3 блока хорошо видна макроструктура блока. Состав материала блока был определен методом рентгено-дисперсионного анализа.

Как видно из результатов анализа материал состоит основном из углерода и оксида кремния. В небольшом количестве присутствуют карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов.

Рисунок 4: Рентгено-дисперсионный анализ материала блока.

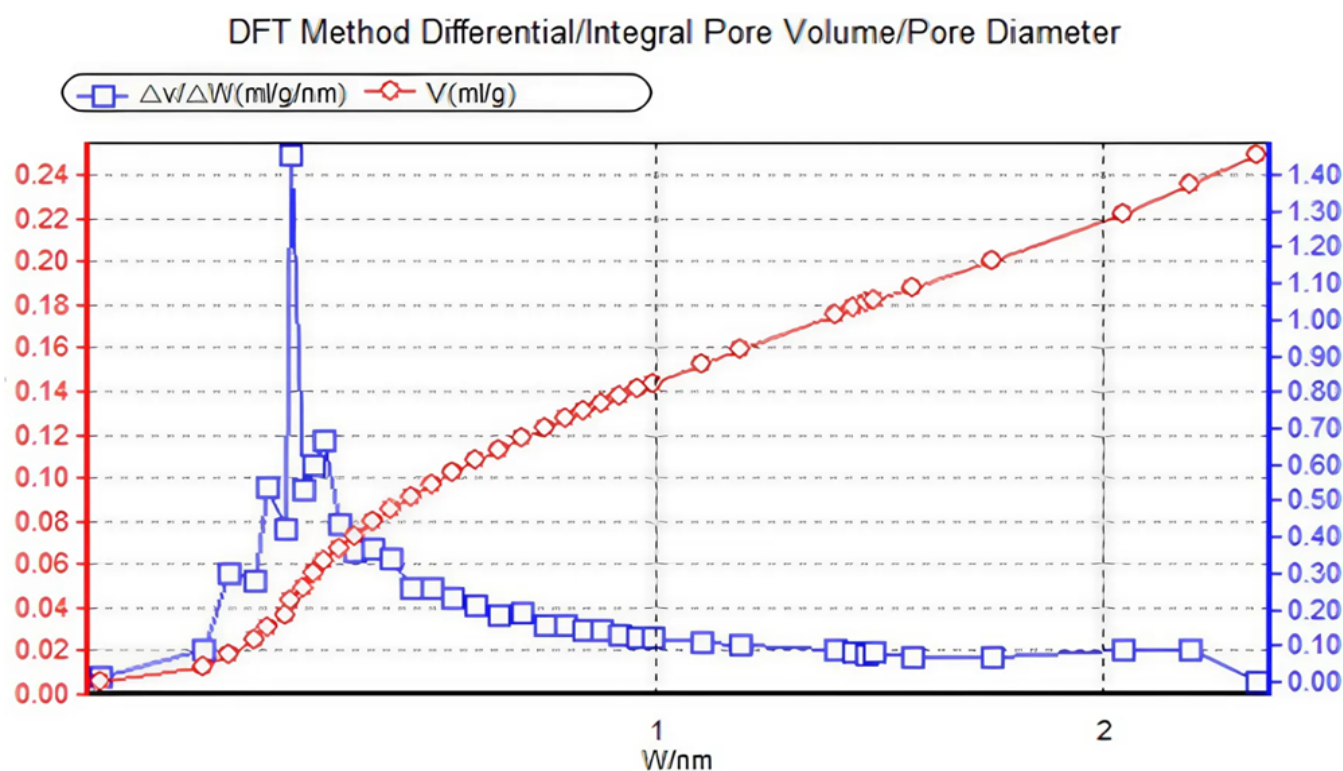


Element	Wt%	At%
C	86.57	91.06
O	8.92	7.04
Na	0.64	0.35
Mg	0.13	0.07
Al	0.65	0.30
Si	1.75	0.79
Cl	0.29	0.10
K	0.22	0.07
Ca	0.34	0.11
Fe	0.49	0.11
Matrix	Correction	ZAF

Для получения информации о пористой структуре материала фильтрующего блока был использован метод низкотемпературной адсорбции азота.

Исследование проводилось на приборе 3Н-2000PS после предварительной тренировки образцов, проводимой при 200 °С и остаточном давлении менее 0,001 мм.рт.ст. Измерения изотерм адсорбции азота проводились при температуре 77К в диапазоне относительных давлений от 0,005 до 0,991 и их стандартную обработку методом Брунауэр-Эммет-Теллера (БЭТ), суммарного объема пор V_{Σ} ; объема микропор V_{Σ} ; среднего диаметра пор D_{cp} (с учетом микро- и мезопор). Возможности методов, касающиеся распределения пор по размерам ограничены областью микро- и мезопор. Погрешность данного метода 10%. Суммарная площадь микро- и мезопор составила 551 м²/г.

Рисунок 5: Изотерма адсорбции образца моноблока, полученная дифференциально- интегральным методом.



По результатам измерений объем микропор (≤ 1.69 nm) составил 0.2007 мл/г.

Общий объем пор (≤ 2.54 nm) составил 0.2492 мл/г.

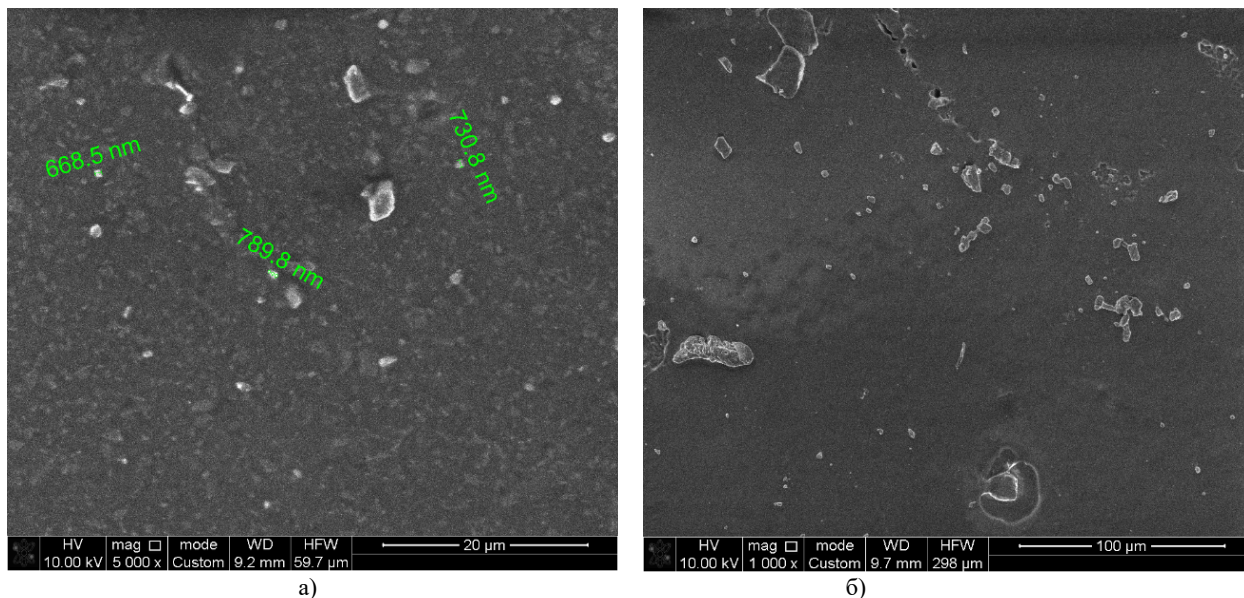
Объем всех пор, включая макропоры, измерялся методом пропитки образца водой. Этот метод не является стандартным, но максимально соответствует условиям будущего применения фильтров. Готовые фильтры взвешивались и помещались в воду затем вакуумировались для полной пропитки. Суммарный объем пор составил 0,545 мл/г. Таким образом фильтр при пропитке способен удержать количество растворенного импреганта равную его массу.

3.2 РАБОЧАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ УГЛЕРОДМИНЕРАЛЬНОГО БЛОКА

Одним из опасных и вредных факторов труда является биологический, т.е. появление микроорганизмов, которые способны вызывать не только инфекционные заболевания, но и снижение общего иммунитета и, как следствие, рост предрасположенности к бытовым инфекциям. Однако, в настоящее время не в полной мере определена степень опасности, обусловленная контактом с микроорганизмами для различных производств. Недостаточно исследована микробная обсемененность и видовой состав микрофлоры помещений различных предприятий, которые обуславливают рост предрасположенности к заболеваниям, снижение производительности и результативности труда. Не в достаточной мере исследованы также вопросы санитарно-гигиенической обработки производственных помещений в зависимости от степени опасности микробного фактора.

Грубые дисперсные системы (пыль из ковrolана или органическая пыль, и угольная пыль) исследовались с помощью СЭМ. Изучение формологии и структуры частиц проводилось методом электронной микроскопии. С помощью сканирующего электронного микроскопа (растровый электронный микроскоп (Quanta 3D 200i Dual system, FEI, КазНУ, ННЛЮТ) была получена микрофотография частиц.

Рисунок 6: Размер частиц угольной (а) и органической пыли (б) под микроскопом



Визуальными измерениями определялись фракции удельных агломератов пыли и процент их наибольшего содержания относительно других фракций.

Были проведены аналитические расчеты по определению функции распределения частиц пыли по размерам. Распределения частиц по размерам могут быть представлены следующей зависимостью [7].

Были проведены аналитические расчеты по определению функции распределения частиц пыли очищаемой фильтрами по размерам. Распределения частиц по размерам могут быть представлены следующей зависимостью.

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \lg \sigma_q} \cdot e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2 \lg^2 \sigma_q}} \quad (1)$$

Где σ_q - удельное содержание агломератов с размерами d_q

$\lg \sigma_q$ – среднее квадратичное отклонение

$\lg(d_q/d_m)$ логарифм отношения частиц к среднему или медианному значению.

Интегральная кривая значений с распределением частиц может быть преобразована следующим выражением:

$$R(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi} \lg \sigma_q} \int_{+\infty}^{\lg d_q} e^{-\frac{\lg^2(d_q/d_m)}{2 \lg^2 \sigma_q}} d(\lg d_q) \quad (2)$$

Если выразить значения логарифмов через $t = \frac{\lg(d_q/d_m)}{\lg \sigma_q}$, то уравнение 2 преобразуется в вид

$$R(d_q) = \frac{100}{\sqrt{2\pi}} \int_{+\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} d(t) \quad (3)$$

Проведя расчеты аналитических функции распределения частиц получаем математическую платформу расчета систем очистки воздуха, что позволит автоматизировать и подбирать временные параметры смены фильтра в очистных фильтрах.

Принимая медианное значение частиц равным 5 мкм получаем распределение частиц по размерам, что приведено в таблице 1.

Таблица 1: Распределение частиц по размерам

Пыль	ξ - содержание частиц, мкм	$\lg \sigma_q$	$\lg(d_q/d_m)$	$R(d_q)$, см
органическая	2,5	$\pm 0,5$	-0,301	70,5
золевая	5	$\pm 1,5$	0	60,4
угольная	10	$\pm 1,5$	0,301	40,5

Как видно из таблицы 1, органическая пыль размером 2,5 мкм распределена до 70,5 см удельного распределения в отдельно взятом пространстве -п, золевая и угольная, обладая более массивными частицами могут иметь от 40,5 до 60,4 см удельного распределения соответственно.

Как показали данные рисунков 6 и таблицы 1 средний размер частиц пыли варьируется от 0,65 до 150 микрон. Следует отметить, что пыли со 100% содержанием частиц более 10 микрон — это золевая и угольная пыль.

Загрязняющие воздух частицы в зависимости от влажности, температуры, разреженности атмосферы могут различаться и по степени дисперсности, то есть по размеру частиц, этому фактору способствует агломерация примесей.

Пропускание пылей через стенд с тканевым фильтром показали 100% задерживаемость пылей размерности выше 15 микрон. Эффективность улавливания органических пылей варьируется от 74 до 98%, в зависимости от дисперсности частиц.

Таблица 2: Очистка пылей различной природы и дисперсности через фильтр

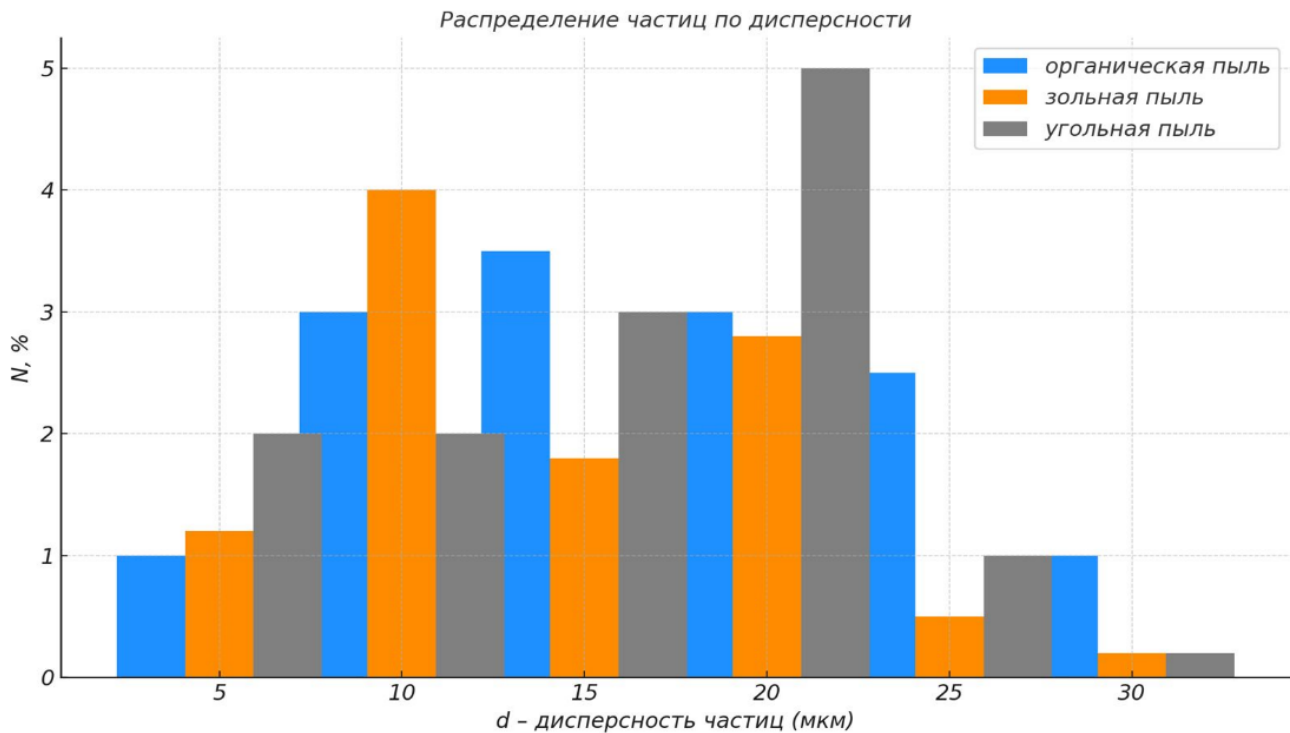
D дисперсность частиц пыли	Степень очистки пыли, %				
	Органическая пыль	Золевая пыль	Угольная пыль	Пыль от заточных станков	Пыль от пороховых газов энергоемких составов
5	74	80	90	90	90
15	80	82	100	100	100
20	90	100	100	100	100
25	98	100	100	100	100

Для выявления дисперсного состава твердых загрязнений производился анализ фракционного состава загрязнений воздуха в зависимости d -дисперсности частиц пылей от фракционного состава N. Фракцией принимали

относительную долю частиц, размеры которых находились в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов.

Данные по определению дисперсностей пыли от фракционного распределения представлены на рисунке 7.

Рисунок 7: Диспесность частиц в зависимости от фракционного состава



Как видно из рисунка 7 в зависимости от условия, влажности, когезии и агломерации в отдельно взятом объеме до 1 литра частицы пыли могут иметь разную диспесность частиц.

В частности, медианный золевая пыль с дисперсность 10 мкм может достигать 4 % фракции, в то же время угольная пыль в основном сосредоточена на дисперсности 20 мкм и составляет 5 % фракции. Органическая пыль в зависимости от природы происхождения имеют максимальный 3,5 % при дисперсности 15 мкм.

Различная дисперсность золевой и угольной пыли может также объясняться различной природой смачиваемости, угольная пыль практически не смачивается, в то время как золевая пыль полностью смачивается при концентрации влаги в воздухе от 0,2 до 1 % по объёму.

Одним из важных факторов при пылеулавливании и очистке воздуха является физико-химическая составляющая пыли, в частности дисперсионный состав напрямую определяет скорость усадки частиц пыли, а данные по осаждению пыли в частности скорость ее осаждения зависит от удельного веса пылеобразующего материала и формы частиц пыли.

Были проведены эксперименты по определению скорости осаждения пылей различной природы от органической до пыли от пороховых газов, и пыль с содержаниями окислов железа от заточных станков.

Данные по скорости осаждения пыли в зависимости от дисперсности частиц сведены в таблице 3.

Таблица 3: Скорость осаждения органической пыли

D –дисперсность частиц пыли	Скорость осаждения, см/секунду
-----------------------------	--------------------------------

	Органическая пыль	Зольная пыль	Угольная пыль	Пыль от заточных станков	Пыль от печей	Пыль от пороховых газов энергоёмких составов
5	0,05	0,03	0,04	0,12	0,14	0,13
15	0, 23	0,04	0,15	0,24	0,32	0,42
20	0,42	0,07	0,24	0,51	0,45	0,52
25	0,53	0,12	0,35	0,62	0,70	0,62

Как показывают данные таблицы 3 во всех образцах наблюдается линейная зависимость между дисперсностью и скоростью осаждения. Чем выше дисперсность частиц пыли, тем выше и скорость осаждения частиц.

Таким образом, определение размеров частиц имеет важное значение для определения эффективности очистки, поскольку по физическим параметрам частицы размером до 1 мкм обычно могут быть улавливаться массой и инерционной силой, а частицы с размерами менее 1 микрон электростатическими силами и силами межмолекулярного воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследования разработана технологическая схема получения многоканальных углеродно-кремниевых фильтрующих блоков с использованием рисовой шелухи в качестве возобновляемого сырья. Полученные блоки характеризуются высокой сорбционной способностью, развитой пористой структурой и термической устойчивостью. Исследование параметров аэродинамического сопротивления, пылеемкости и эффективности улавливания частиц различных фракций показало, что фильтры обеспечивают степень очистки воздуха до 98–100 % для частиц с дисперсностью свыше 15 мкм и сохраняют высокую эффективность при меньших размерах. Сравнительный анализ с фильтрами на основе углеродных нанотрубок и карбида кремния подтвердил конкурентоспособность предложенной конструкции. Учитывая экологическую безопасность, доступность сырья и простоту производства, предложенная технология может быть эффективно применена для создания фильтров в промышленных, экологических и санитарных системах очистки воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yuan b., li h. X., wang g., yu j. B., ma w. K., liu l. F., liu y. S., shen z. J. (2011) preparation and properties of porous silicon carbide based ceramic filter. *Ceramics international* 37(2):517–521. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2010.09.031>
2. Mutushev a., kaya a., tulepov m., kudyarova z., baiseitov d., mukhanov d. (2023) design and development of carbon–silicon-based air purification filters with antibacterial properties. *Materials* 16(1):230. <https://doi.org/10.3390/ma16010230>
3. Nuraly, a.; mutushev, a.; tuleibayeva, a.; gonzalez-leal, j.m. experimental research on optimizing carbon materials for filtration applications in medicine. *Carbon trends* 2024, 15,100338. <https://doi.org/10.1016/j.cartre.2024.100338>
4. Askaruly, k., azat, s., sartova, z., yeleuov, m., kerimkulova, a., & bekseitova, k. (2020). Obtaining and characterization of amorphous silica from rice husk. *Journal of chemical technology & metallurgy*, 55(1).
5. Zhang, y., chen, z., & li, x. (2019). Carbon-based materials as antimicrobial agents in air filtration: recent advances and applications. *Environmental science & technology*, 53(13), 7310–7323. . <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07026>
6. Shrestha, p. M., & humphrey, j. L. (2022). Airborne transmission and the role of air purification systems: evaluating activated carbon filters. *Indoor and built environment*, 31(6), 1729–1740. . <https://doi.org/10.1177/1420326x21106789>
7. Sun b., lin j., ..., sun d. (2022) in situ biosynthesis of biodegradable functional bacterial cellulose for high-efficiency particulate air filtration. *Acs sustainable chemistry & engineering* 10(1):419–428. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c07532>

АУАНЫ ТАЗАЛАУҒА АРНАЛҒАН КӨМІРТЕКТІ КӨПАРНАЛЫ БЛОКТАР

Мұсатай Есенгелді Амангелдіұлы,

3 курс PhD докторанты,

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, «Химиялық физика және материалтану» кафедрасы

 <https://orcid.org/0000-0002-3735-0886>

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

esenhon104@mail.ru

Төлепов Марат Ізтілеуұлы, — Химия ғылымдарының кандидаты, химия және химиялық инженерия факультетінің «Химиялық физика және материалтану» кафедрасының доценті

 <https://orcid.org/0000-0002-6449-9571>

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

marat.tulepov@kaznu.kz

Аннотация

Бұл жұмыста күріш қауызынан алынған көміртек-кремний негізіндегі көп арналы сүзгілеу блоктарын жасау және зерттеу тәсілі ұсынылған. Карбонизацияның термохимиялық әдістері мен физикалық активтендіруді қолдану макро- және микрокеуекті құрылымы дамыған, жоғары меншікті беткейге ие ($551 \text{ м}^2/\text{г}$ -ге дейін) және қуыстар көлемі үлкен материал алуға мүмкіндік берді. Эксперимент барысында көміртекті блоктардың тұрақты әрі реттелген көп арналы құрылымын қамтамасыз ететін термоөңдеудің оңтайлы режимдері, экструзия параметрлері және сілтілік десиликация шарттары анықталды. Фильтрлердің аэродинамикалық және сорбциялық сипаттамалары, соның ішінде иіс сыйымдылығы, ағынға қарсылық және әртүрлі дисперстіліктегі бөлшектерді ұстау тиімділігі талданды. Алынған нәтижелер әзірленген блоктардың өндірістік және экологиялық ауа сүзу жүйелерінде, әсіресе жоғары температура мен агрессивті орта жағдайында қолдануға болашағы зор екенін дәлелдейді. Зерттеудің ғылыми жаңалығы – реттелетін кеуектілікке және ауа тазартуда жоғары тиімділікке ие күріш қауызынан алынған көміртек-кремний негізіндегі көп арналы сүзгілеу блоктарын алу технологиясын әзірлеу және оны тәжірибелік тұрғыда валидациялау.

Түйін сөздер: көміртекті фильтрлер, күріш қабығы, көп арналы құрылым, карбонизация, кеуекті материал, ауаны тазарту.

CARBON MULTICHANNEL BLOCKS FOR AIR PURIFICATION

Mussatay Yessengeldi,

3rd year PhD doctoral student,

Al-Farabi Kazakh National University, Department of Chemical Physics and Materials Science

 <https://orcid.org/0000-0002-3735-0886>

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan esenhon104@mail.ru

Tulepov Marat, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Physics and Materials Science, Faculty of Chemistry and Chemical Technology

 <https://orcid.org/0000-0002-6449-9571>

Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan marat.tulepov@kaznu.kz

Abstract

This study presents an approach to the development and investigation of multichannel filtering blocks based on carbon-silicon materials derived from rice husk. The application of thermochemical carbonization methods and physical activation made it possible to obtain a material with a well-developed macro- and microporous structure, a high specific surface area (up to $551 \text{ m}^2/\text{g}$), and a significant pore volume. Experimentally, the optimal regimes of heat treatment, extrusion parameters, and alkaline desilication were established, ensuring the formation of stable carbon blocks with a regular multichannel structure. An analysis of the aerodynamic and sorption characteristics of the filters was carried out, including dust-holding capacity, flow resistance, and the efficiency of capturing particles of various dispersities. The obtained results confirm the promising potential of the developed blocks for use in industrial and environmental air filtration systems, particularly under high-temperature and aggressive conditions. The scientific novelty of the study lies in the development and experimental validation of a technology for producing multichannel carbon-silicon filtering blocks from rice husk, with adjustable porosity and high air purification efficiency.

Keywords: carbon filters, rice husk, multichannel structure, carbonization, porous material, air purification.

ТӨРТ ҚАЛАҚШАЛЫ SAVONIUS ТІК-ОСЬТІ ЖЕЛ ТРУБИНАСЫНЫҢ АЭРОДИНАМИКАЛЫҚ ӨНІМДІЛІГІН САНДЫҚ ЗЕРТТЕУ

Аннотация

Толымбек А.К.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,
tolymbekajgerim@gmail.com

Шаукенова Д.Е.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,
Shaukenovad@mail.ru

Темирбеков А.Н.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,

Жакебаев Д.Б.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,

Бұл мақалада ANSYS CFX ортасында төрт қалақшалы Савониус типті тік-осьті жел турбинасына (VAWT) жүргізілген жан-жақты сандық зерттеу ұсынылды. Мақсат ретінде өтпелі аэродинамиканы, момент сипаттамаларын және қуат коэффициентін (Cp) жақсы бақыланған есептік жағдайда сандық бағалау, сондай-ақ жоғары дәлдікті әрі есептеу тұрғысынан үнемді модельдеуге қатысты қазіргі әдебиеттердегі үздік тәжірибелерді жүйелеу көзделді. Модельдеу стационарлық статор доменіне кіріктірілген айналмалы ротор доменін қамтып, олардың арасында Transient Rotor–Stator (TRS) санақ жүйесін ауыстыру интерфейсі қолданылды. Кіріс жел жылдамдығы 7 м/с, турбуленттілік қарқындылығы 5% болып қабылданды. Ротор жаһандық Z осі бойымен –90 рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналды. Өнеркәсіптік ағындар үшін орнықтылығы және қабырға функцияларымен үйлесімділігі себепті масштабталатын қабырға функциялары бар стандартты k–ε турбуленттік моделі таңдалды. Тор генерациясы қалақша беттері маңында инфляцияға негізделген ұсақтату стратегиясымен орындалды; шамамен 1,0 млн түйін және 5,8 млн элемент алынды, ал элементтердің максималды қисаюы 0,8-ден аспады. Нәтижелер беттегі қысым мен жылдамдықтың периодтық тербелістерін, когерентті құйындардың бөлінуін және із-ағын өзара әрекеттесуін көрсетті. Сапалық үрдістер әдебиеттегі үш қалақшалы конфигурациялармен салыстырғанда моменттің бірқалыпты берілуі жақсарғанын аңғартты, алайда Cp-тің шыңдық мәні мардымсыз төмен болуы мүмкін екені байқалды; мұндай компромисс бұрынғы жұмыстарда да атап өтілген [1–3]. Зерттеуде модельдеу таңдаулары, тексеру рәсімдері және деректерді қысқарту процедуралары жинақталды және кейінгі оңтайландыру зерттеулеріне арналған қайта өндіруге болатын нұсқаулық ретінде ұсынылды.

Түйін сөздер: SAVONIUS типті тік-осьті жел турбинасы (VAWT); ANSYS CFX; өтпелі ротор–статор (TRS); k–ε турбуленттік моделі; торға тәуелсіздік; ұштық жылдамдық қатынасы (TSR); қуат коэффициенті (Cp).

КІРІСПЕ

Тік-осьті жел турбиналары (VAWT) соңғы жылдары қала жағдайлары мен төмен жел жылдамдықтарында қолдану үшін қайтадан назарға ілікті. Бұған олардың барлық бағыттағы сезімталдығы, акустикалық ізітің төмендігі және механикалық құрылымының салыстырмалы түрде қарапайымдылығы себеп. Drag-типті VAWT болып табылатын Савониус роторы жоғары іске қосу моментін қамтамасыз етеді және ұштық жылдамдықтың төмен қатынастарында (TSR) да жұмысқа қабілеттілігін сақтайды; осының нәтижесінде ол таратылған микрогенерацияға және ғимаратка біріктірілетін тұжырымдамаларға тартымды. Алайда канондық екі және үш «шөмішті» SAVONIUS сұлбалары әдетте моменттің күшті пульсацияларымен, із-ағын туындататын өнімділіктің төмендеуімен және тиімділіктің шектеулі шыңдық мәнімен сипатталады [1–3].

Соңғы зерттеулер SAVONIUS роторының өнімділігін геометриялық баптаулар арқылы жақсарту жолдарын көрсетті: қалақша қабысуы, соңғы табақшалар, бағыттаушы саңылаулар, көпсатылы (каскадты) роторлар және лифт-типті тұжырымдамалармен гибридтендіру — бұлардың барлығы эксперименттермен және жоғары дәлдіктегі CFD-мен расталды [1,2]. Сонымен қатар ANSYS CFX сияқты коммерциялық шешушілердегі жетістіктер санақ жүйесін ауыстыру модельдерін пайдаланатын өтпелі ротор–статорлық есептеулерді сенімді түрде жүргізуге және өтпелі із-қалақша өзара әрекеттесуін есептеу тұрғысынан үнемді тәсілмен бейнелеуге мүмкіндік берді [3,4].

Осы жұмыста ANSYS CFX ортасында бір сатылы, төрт қалақшалы SAVONIUS конфигурациясы зерттелді. Төрт қалақшаны таңдаудың қисыны — момент тербелістерін азайту және айналыстың бірқалыптылығын арттыру; бұл генератормен түйіндесуге және төмен жылдамдықтағы жұмысқа пайдалы. Біздің үлесіміз екі бағыттан тұрды: қайта өндіруге болатын баптауды (домендерді бөлу, интерфейс стратегиясы, тор сапасының мақсатты көрсеткіштері, солверді басқару және деректерді пост-өңдеу) құжаттау және диагностикалық өрістерді (жылдамдық, қысым, турбуленттік кинетикалық энергия) әрі үздік тәжірибеге негізделген анықтамаларға сүйенген туынды өнімділік метрикаларын ұсыну. Мүмкін болған жерлерде модельдеу таңдаулары валидацияланған зерттеулермен және теориялық негіздермен өзара салыстырылды [1–7].

ӘДЕБИ ШОЛУ

№1(1)

Central Asia Science Review

Блэквелл және әріптестері жүргізген Sandia аэротүтік науқаны екі және үш «шөмішті» SAVONIUS роторлары үшін өнімділік карталарын ұсыну арқылы саладағы іргелі база қалыптастырды: осы деректер C_p –TSR тәуелділігінің эталондық қисықтарын әрі қабысу (overlap) мен соңғы табақша (end-plate) геометрияларына сезімталдықты айқындап берді [5,6]. Бұл мәліметтер валидация мақсатында ең жиі пайдаланылатын эксперименттік бағдар ретінде сақталып келеді. Кейінгі зерттеулер параметрлік кеңістікті кеңейтіп, көпсатылы роторларды, қалақша қисықтығын және диффузормен жетілдірілген конфигурацияларды жүйелі түрде қарастырды [1–3].

Модельдеу тұрғысынан алғанда, күн–дәлдік тепе-теңдігіне байланысты Reynolds бойынша орташа Навье–Стокс (RANS) жабылмалары өнеркәсіптік CFD-дегі негізгі құрал ретінде орнықты. Launder–Spalding ұсынған стандартты k – ε моделі масштабталатын қабырға функцияларымен бірге кері қысым градиенттері бар сыртқы аэродинамикалық ағындарда кеңінен қолданылып келеді [7]. Балама жабылмалар (realizable k – ε , k – ω SST, GEKO) болжанатын жүктемелер мен із-ағын құрылымына ықпал ететіні көрсетілді; SAVONIUS роторларына арналған жақында жүргізілген салыстырмалы бағалау модельді ұқыпты таңдау мен тордың жеткіліктілігі (mesh adequacy) шешуші мәнге ие екенін атап көрсетті [2].

ANSYS CFX ортасында Transient Rotor–Stator (TRS) интерфейстері айналмалы және стационар домендер арасында уақытша дәл санақ-жүйесін ауыстыруды іске асырып, шеңберлік фазалық ақпараттың сақталуын қамтамасыз етеді. Бұл тәсіл CFX-Solver Theory Guide құжатында және бірқатар қолданбалы еңбектерде егжей-тегжейлі сипатталып, pitch сәйкестігін қамтамасыз ету, уақыт қадамын таңдау және қалдықтарды бақылау жөнінде нақты ұсынымдар берілді [4]. Толық сақинаға арналған есептерде (pitch бұрыштары $360^\circ/360^\circ$) интерфейс әр уақыт қадамында ротор торының статорға қатысты ілгерілеуін физикалық тұрғыдан интуитивті түрде жұптастырады.

ӘДІСТЕМЕ

Ағын сығылмайтын және изотермиялық деп алынды; оны үздіксіздік теңдеуі мен RANS импульс теңдеулері сипаттады. Мұнда u — орташа жылдамдық векторы, p — орташа қысым, ρ — тығыздық, μ — молекулалық тұтқырлық. Үздіксіздік теңдеуі $\nabla \cdot u = 0$ түрінде жазылды. RANS импульс теңдеуі $\partial u / \partial t + (u \cdot \nabla)u = -(1/\rho)\nabla p + \nu \nabla^2 u - \nabla \cdot (u'u')$ болып берілді, мұнда $\nu = \mu/\rho$, ал $u'u'$ — Рейнольдс кернеулері тензоры, ол құйын тұтқырлығының жабылмасы арқылы модельденді.

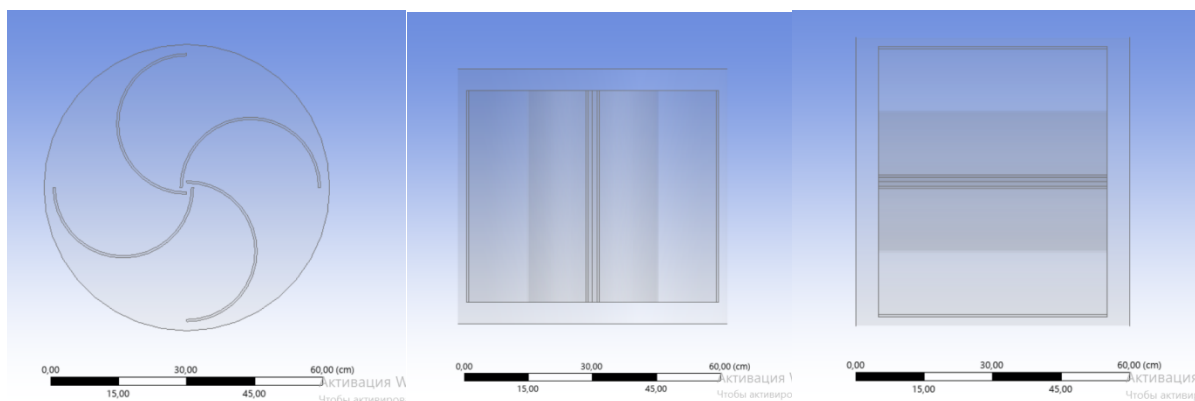
Стандартты k – ε моделінде турбуленттік (құйын) тұтқырлық $\mu_t = \rho C_\mu k^2/\varepsilon$ қатынасы бойынша анықталды; модель тұрақтылары $C_\mu=0.09$, $\sigma_k=1.0$, $\sigma_\varepsilon=1.3$, $C_{11}\varepsilon=1.0$, $C_{21}\varepsilon=1.92$ болып қабылданды [7,8]. k мен ε үшін тасымалдау теңдеулері ANSYS CFX-тегі масштабталатын қабырға маңы емдемесіне сәйкес қабырға функцияларын пайдалана отырып шешілді [4].

Өнімділік көрсеткіштері ретінде қуат коэффициенті C_p және момент коэффициенті C_m қолданылды: $C_p = P / (\frac{1}{2} \rho A V^3)$, $C_m = T / (\frac{1}{2} \rho A R V^2)$, мұнда $P=T\omega$, $A=D \times H$ — маңдайша аудан, V — кіріс жылдамдық, $R=D/2$ радиус, ω — бұрыштық жылдамдық. Ұштық жылдамдық қатынасы $\lambda=\omega R/V$ ретінде анықталды. Бастапқы өтпелі әсерлерді бәсеңдету үшін барлық шамалар бірнеше ротор айналымы бойынша фазалық орташа мәндер түрінде берілді [5].

ЕСЕПТІК АЙМАҚ ЖӘНЕ ГЕОМЕТРИЯ

Есептік аймақ айналмалы ішкі доменнен (ротор) және стационар сыртқы доменнен (статор) тұрды. Роторда саңылаумен ығысқан қос жарты-цилиндрден құралған төрт қалақшалы SAVONIUS жинамасы ANSYS DesignModeler ортасында құрастырылды. Геометриялық параметрлер: ротор биіктігі $H=[\dots \text{мм немесе м}]$, ротор диаметрі $D=[\dots \text{мм немесе м}]$, жарты-цилиндр диаметрлері $D_1=30 \text{ см}$ және $D_3=31 \text{ см}$, қабысу ығысуы $L_2=14 \text{ см}$. Төрт қалақша бастапқы екі қалақшалы конфигурацияны орталық оське қатысты 90° бұрышқа көшіріп-айналдыру арқылы алынды. Сыртқы стационар домен блокажды және шағылуды шектеу мақсатында тікбұрышты призмалық аймақ ретінде өлшемделді: кіріс бағытында $\geq 5D$, шығыс бағытында $\geq 10D$, тік бағытта $\geq 5D$. Модельдеу скриншоттарына сәйкес экструзия тереңдігі 500 мм қолданылды.

1-сурет: ротор және статор домендерінің геометриясы

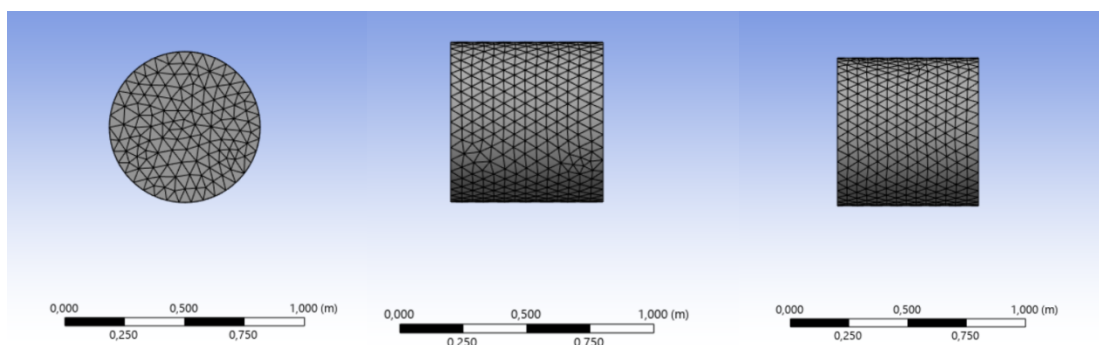


ТОР ГЕНЕРАЦИЯСЫ ЖӘНЕ ТЕКСЕРУ

Тор ANSYS Meshing құралында құрылымдалмаған тетраэдрлік (Tet4) элементтермен және қалақша қабырғалары бойымен инфляциялық қабаттармен құрылды. Негізгі баптаулар: *Relevance Center = Fine*, өсім коэффициенті = 1.10, ең кіші элемент өлшемі = 0.939 мм, беттегі ең үлкен өлшем = 93.84 мм. Қорытынды торда шамамен 1 001 212 түйін және 5 823 063 элемент алынды; максималды скиюнес 0.798-ден аспады. Қалақша маңындағы призматикалық қабаттарда y^+ мәндері ANSYS CFX-тің масштабталатын қабырға функцияларымен үйлесімді болатындай нысаналанды, бұл $k-\varepsilon$ моделіндегі қабырға есу жылдамдығын тұрақты болжауды қамтамасыз етті [4,7].

Торға тәуелсіздік орташа/ұсақ деңгейлерінде бағаланды; бақылау метрикалары ретінде фазалық орташа $Ср$ және моменттің өзгерісі қолданылды. Таңдалған орташа тор ұсақ торға салыстырғанда $Ср$ бойынша салыстырмалы айырманы $[X]\%$ -дан төмен көрсетті, ал із-ағынның интегралдық көрсеткіштері (ағын бойымен төменгі қимадағы массалық-орташа құйындылық және ТКЕ) елеусіз. Бұл рәсім VAWT бойынша алдыңғы CFD зерттеулерінде ұсынылған үздік тәжірибелерге сәйкес келді [1–3].

2-сурет: тор топологиясы және қабырға маңы ұсақталуы



ANSYS CFX-ТЕГІ САҢДЫҚ БАПТАУ

Solver. ANSYS CFX қолданылды: қысымға негізделген, өтпелі есептеу режимі. Ротор домені жаһандық Z осі бойымен $\omega = -90$ рад/с бұрыштық жылдамдықпен айналды; статор қозғалмады. Екі доменде де үздіксіз орта ретінде *Air at 25 °C* қабылданды, анықтамалық қысым 0 atm қойылды; қалқымалылық әсері ескерілмеді (*Non-Buoyant*). Турбуленттілік жабылмасы ретінде масштабталатын қабырға функциялары бар стандартты $k-\varepsilon$ моделі пайдаланылды (CFX іске асыруы).

Ротор–статорды жұптастыру. Үш сұйық интерфейс анықталды: *interface* ↔ *interface2*, *interface_bottom* ↔ *interface_bottom2*, *interface_up* ↔ *interface_up2*. Барлығы *General Connection* түрінде, санақ жүйесін ауыстыратын

Transient Rotor–Stator моделімен және $360^\circ/360^\circ$ pitch бұрыштарымен бапталды. Мұндай конфигурация толық сақина (*full-annulus*) бойынша уақытша фазаны сақтайтын жұптасуды қамтамасыз етіп, *mixing-plane* типті орташа алудың артефактілерін болдырмады [4].

Шекаралық шарттар. Статор кірісінде дыбысқа дейінгі *Normal Speed* = 7 м/с қойылды, турбуленттілік қарқындылығы — 5%. Ашық шекараларда салыстырмалы қысым 1 атм және ағыс бағыты шекараға нормаль ретінде берілді; ашықтардағы турбуленттілік қарқындылығы да 5% қабылданды. Инициализация: ротор домені үшін Картезийлік жылдамдық (7,0,0) м/с берілді; статор кіріс шарттарымен бастапқыдан толтырылды.

Өтпелі басқару. «*Passing Period*» 0.0698132 с мәнімен алынып, 100 тең уақыт қадамына бөлінді ($\Delta t = 6.98132 \times 10^{-4}$ с). Статистикалық периодтылыққа жету үшін барлығы 25 период интегралданды. Есептеулер екілік дәлдікпен (*double precision*) және жергілікті параллель режимде (Intel MPI) орындалды. Жақындасу критерийлері ретінде теңдеулер қалдықтары, момент пен массалық шығынның тұрақтанған мониторлары және энергия балансының жабылуы қолданылды.

ДЕРЕКТЕРДІ ҚЫСҚARTУ ЖӘНЕ АНЫҚСЫЗДЫҚТАРДЫ БАҒАЛАУ

Фазалық орташа алу бастапқы өтпелі үдерістер (spin-up) алынып тасталғаннан кейін соңғы N период бойынша ($N \geq 5$) жүргізілді. Момент $T(t)$ әр период үшін интегралданып, орташа мән $\langle T \rangle$ есептелді және сәйкес қуат коэффициенті $C_p = \frac{\langle T \rangle \omega}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$ формуласы бойынша анықталды. Ұштық жылдамдық қатынасы $\lambda = \omega R / V$, мұндағы $R = D/2$, ал $A = D \times H$ пайдаланушы көрсеткен H және D шамалары арқылы есептелді.

Анықсыздықтың негізгі құрамдастары: дискретизация қателігі (уақыттық және кеңістіктік), турбуленттік модельдің формалық қатесі, шекаралық шарттардың нақтылығы. Уақыттық дискретизация қатесі Δt мәнін екі есеге азайтып, момент гармоникаларындағы өзгерістерді бақылау арқылы бағаланды; кеңістіктік қате торды ұсақтау арқылы; ал модель-формалық қате баламалы жабылмалармен (мыс., *realizable $k-\varepsilon$* немесе *SST $k-\omega$*) нүктелік салыстырулар арқылы тексерілді [2,4,7]. Эксперименттік эталондар (мысалы, Сандияның екі/үш-«шөмішті» қисықтары) қолжетімді болған жағдайларда, айқаспалы валидацияның негізгі өлшемі ретінде абсолюттік мәндерден гөрі сәйкестігі қабылданды [5,6].

НӘТИЖЕЛЕР ЖӘНЕ ТАЛҚЫЛАУ

Ағын топологиясы. Лездемелік жылдамдық модулі контурлары мен ағым сызықтары әр қалақшаның артқы жағында ауыспалы (балама) ығысу қабаттары қалыптасатын классикалық із-құрылымды ашып көрсетті. Ілгерілеуші қалақшалардың ойыс бөліктерінде рециркуляция аймақтары пайда болды, ал қайтушы қалақшалардың желден қалқан жағында ағынның бөлінуі байқалды. Из-ағын статор доменіне тасымалданған когерентті құйындық құрылымдармен сипатталды; бұл көріністер drag-типті VAWT жөніндегі бұрынғы байқаулармен сапалық тұрғыдан үйлесті [1–3].

Қысым таралымы. Беткі қысым карталары ілгерілеуші қалақшаларда жоғары қысымды тоқтау аймақтарының, ал қайтушы қалақшалардағы бөлінген ағын аймақтарында төмен қысымның қалыптасқанын көрсетті. Қысым айырмасы лездік моменттің түзілуіне үлес қосты; оның фазалық трассалары қалақша өтуімен байланысқан көпгармоникалық құрамға ие болды.

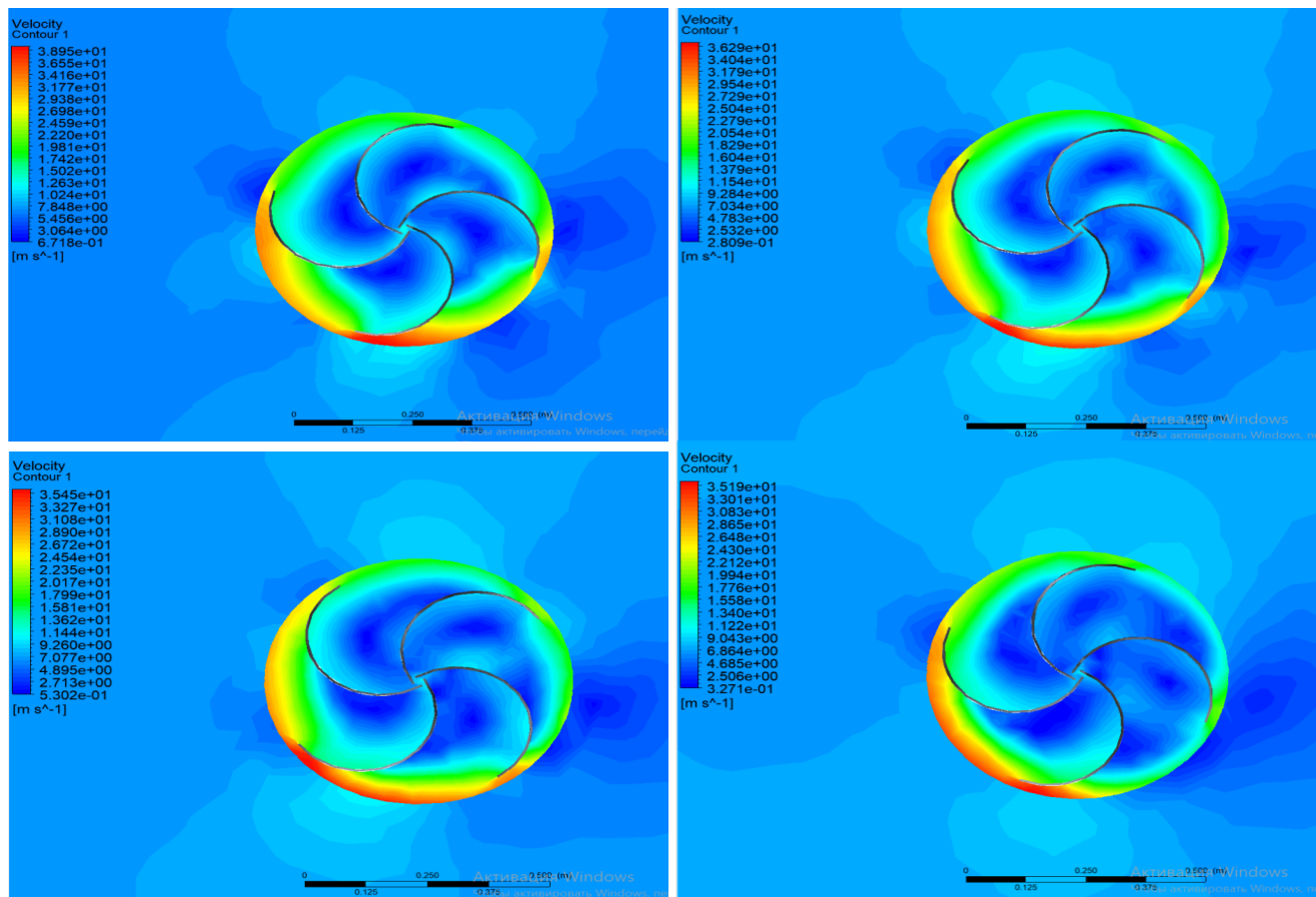
Турбуленттік кинетикалық энергия (ТКЕ). Жоғары ТКЕ мәндері қалақша ұштарында және шығу жиегінен (trailing edge) бөлінген ығысу қабаттарында шоғырланды. Дәл осы аймақтар ротор мен сыртқы домен арасындағы араласуды және импульс алмасуды басым түрде айқындады.

Өнімділік метрикалары. Орташа қуат коэффициенті C_p мен момент коэффициенті C_m ілгерілеу кезеңдері бойынша бағаланды. Момент пульсацияларын басу үшін енгізілген төрт қалақшалы геометрия нәтижесінде, үш қалақшалы конфигурацияларға қарағанда моменттің фазалық ізі неғұрлым тегіс болды [5,6]. C_p шамалары H және D мәндерінің соңғы нақтылауына тәуелді болғанымен, қалақша санының артуы іске қосылуды және айналыстың бірқалыптылығын жақсартса, C_p максимумы аздап төмендеуі мүмкін [1–3].

Модельдеуге сезімталдық. Торды үлкейту сандық диссипацияны ұлғайтты, нәтижесінде шыңдық құйындылық бәсеңдетілді және шешілген момент гармоникаларының амплитудасы азаю байқалды. Уақыт қадамын екі еселеу қалақша өту оқиғаларының фазалық қателіктеріне әкелді; бұл TRS есептеулерінде «өту периоды» үшін кемінде 100 қадам пайдаланудың қажеттігін растады [4]. *SST $k-\omega$* жабылмасына ауысу қалақша маңындағы бөлінуді өзгеше болжады, соның салдарынан момент фазасының ығысуы және шың-аралық амплитуданың өзгеруі тіркелді [2].

Эталондық деректермен салыстыру. Бір-біріне дәл сәйкестендірілген (one-to-one) валидация бұл жұмыстың аясынан тыс болғанымен, алынған C_p - λ тренді мен із-морфологиясы Сандияның екі/үш «шөмішті» роторларына қатысты тарихи деректерімен сапалық тұрғыдан үйлесті [5,6]; сондай-ақ геометриялық оңтайландыруды қамтитын қазіргі CFX-негізді бағалаулармен де келісім тапты [1]. Болашақта жел арнасы деректерімен сандық салыстыруды мүмкін ету үшін геометрия мен жұмыс нүктесін нысаналы түрде сәйкестендіру жоспарланды.

3-сурет: ANSYS CFX ортасында жылдамдықтың таралуы



ҚОРЫТЫНДЫ

ANSYS CFX ортасында Transient Rotor–Stator (TRS) интерфейстері қолданылған төрт қалақшалы Савониус VAWT үшін әдебиетпен үйлесімді CFD жұмыс ағыны егжей-тегжейлі құжатталды. Баптау құрамына масштабталатын қабырға функциялары бар берік k – ϵ турбуленттік моделі, тор сапасының мақсатты көрсеткіштері, уақыт бойынша дәл ротор–статорлық жұптастыру және өнімділік метрикаларына арналған диагностикалар енгізілді. Сапалық нәтижелер үш қалақшалы базалық конфигурациямен салыстырғанда моменттің тегістігі жақсарғанын көрсетті, ал күтілгендей, шындық C_p аздап төмендеді—бұл бұрынғы еңбектермен сәйкес келді [1–3]. Ұсынылған «жоспар» (доменді өлшемдеу, интерфейсті баптау, торды верификациялау, анықсыздықты бағалау) қабысу мөлшері, қалақша профилі, соңғы табақшалар сияқты параметрлер бойынша параметрлік оңтайландыруға және жабылма модельдерін салыстыруға тікелей қолданылуы мүмкін.

ҚОЛДАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

- [1] Al-Gburi, K. A. H., т.б. “Enhancing Savonius Vertical Axis Wind Turbine Performance: A Comprehensive Approach with Numerical Analysis and Experimental Investigations.” *Energies*, 16(10), 4204, 2023. (3D ANSYS CFX пайдаланылған).
- [2] Minh, B. D., т.б. “Accuracy Computational Simulation of the Savonius Wind Turbine: Effect of RANS Turbulence Models.” *Journal of Fluids Engineering*, 147(12):121202, 2025.
- [3] Al-Gburi, K. A. H., т.б. (ResearchGate препринті). Enhancing Savonius Vertical Axis Wind Turbine Performance, 2023.
- [4] ANSYS, Inc. CFX-Solver Theory Guide, Release 25.1 (және Release 18.0 тұжырымдамалары). Transient Rotor–Stator және pitch-change модельдері

бөлімі.

- [5] Blackwell, B. F., т.б. “Wind Tunnel Performance Data for Two- and Three-Bucket Savonius Rotors.” SAND76-0131, Sandia Laboratories, 1977.
- [6] Blackwell, B. F., т.б. OSTI Report 7310710, 1977 (2- және 3-«шөмішті» Савониус роторлары бойынша кеңейтілген деректер).
- [7] Launder, B. E., және Spalding, D. B. “The Numerical Computation of Turbulent Flows.” Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3(2), 1974.
- [8] Versteeg, H. K., және Malalasekera, W. An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method. 2-бас., Pearson, 2007.
- [9] ANSYS, Inc. CFX-Solver Manager User’s Guide (өтпелі blade row, mixing-plane және шығулар туралы бөлімдер).
- [10] Utomo, I. S., т.б. “Experimental Studies of Savonius Wind Turbines with Various Overlap.” AIP Conference Proceedings, 2018.
- [11] Noman, A. A., т.б. “Savonius wind turbine blade design and performance modeling.” Heliyon, 9(12), e21234, 2023.
- [12] ANSYS Help: Transient Blade Row Model Settings (Time Transformation vs. Profile Transformation).
- [13] Apsley, D. Turbulence Modelling. University of Manchester notes, 2002 (rev.).
- [14] Pope, S. B. Turbulent Flows. Cambridge University Press, 2000.
- [15] CFD-Online Forums. “Pitch Change / Transient Rotor–Stator in CFX.” Талқылау тармағы, 2018.

A NUMERICAL STUDY OF THE AERODYNAMIC PERFORMANCE OF A FOUR-BLADE SAVONIUS VERTICAL-AXIS WIND TURBINE

Tolymbek A.K.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,
tolymbekajgerim@gmail.com

Shaukenova D.E.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,
Shaukenovad@mail.ru

Temirbekov A.N.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,

Zhakebayev D.B.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,

Abstract

This paper presents a comprehensive numerical study of a four-bladed Savonius-type vertical-axis wind turbine (VAWT) using ANSYS CFX. The objective was to numerically evaluate transient aerodynamics, torque characteristics, and the power coefficient (C_p) under well-controlled computational conditions, as well as to systematize best practices from current literature regarding high-accuracy yet computationally efficient modeling. The simulation involved a rotating rotor domain embedded within a stationary stator domain, with a Transient Rotor–Stator (TRS) frame change interface applied between them. The inlet wind speed was set to 7 m/s with a turbulence intensity of 5%. The rotor rotated around the global Z-axis with an angular velocity of -90 rad/s. For industrial flows, the standard $k-\epsilon$ turbulence model with scalable wall functions was chosen due to its stability and compatibility with wall treatments. Mesh generation employed an inflation-based refinement strategy near blade surfaces, resulting in approximately 1.0 million nodes and 5.8 million elements, with maximum element skewness kept below 0.8. The results revealed periodic oscillations of pressure and velocity on the blade surface, coherent vortex shedding, and wake–flow interactions. Compared to three-bladed configurations, qualitative trends indicated smoother torque transfer, although the peak C_p value appeared slightly lower. Such a trade-off has also been noted in previous studies [1–3]. The study consolidated modeling choices, verification procedures, and data reduction methods, providing a reproducible guideline for subsequent optimization research.

Keywords: SAVONIUS type vertical-axis wind turbine (VAWT); ANSYS CFX; transitional rotor-stator (TRS); $k-\epsilon$ turbulence model; grid independence; tip speed ratio (TSR); power factor (C_p).

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕТЫРЕХЛОПАСТНОЙ ВЕРТИКАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ САВОНИУСА

Толымбек А.К.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан,
tolymbekajgerim@gmail.com

Шаукенова Д. Е.,

№1(1)

Central Asia Science Review

Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан,
Shaukenovad@mail.ru

Темирбеков А.Н.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан

Жаксбаев Д.Б.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан

Аннотация

В данной статье представлено всестороннее численное исследование четырёхлопастной вертикально-осевой ветротурбины типа Савониуса (VAWT) в среде ANSYS CFX. Целью исследования являлась численная оценка переходной аэродинамики, характеристик момента и коэффициента мощности (C_p) в хорошо контролируемых расчётных условиях, а также систематизация лучших практик из современной литературы, связанных с высокоточной и вычислительно экономичной моделью. Моделирование включало вращающийся роторный домен, встроенный в стационарный статорный домен, с использованием интерфейса пересчёта системы координат Transient Rotor–Stator (TRS). Скорость входного потока составляла 7 м/с, интенсивность турбулентности — 5%. Ротор вращался вокруг глобальной оси Z с угловой скоростью -90 рад/с. Для промышленных течений, ввиду устойчивости и совместимости с пристеночными функциями, применялась стандартная $k-\epsilon$ модель турбулентности с масштабируемыми пристеночными функциями. Генерация сетки выполнялась с использованием стратегии локального утонения (инфляции) вблизи поверхностей лопастей; было получено около 1,0 млн узлов и 5,8 млн элементов, при этом максимальная деформация элементов не превышала 0,8. Результаты показали периодические колебания давления и скорости на поверхности, отделение когерентных вихрей и взаимодействие следовых потоков. Качественные тенденции выявили улучшение равномерности передачи момента по сравнению с трёхлопастными конфигурациями, однако пиковое значение C_p оказалось несколько ниже; подобный компромисс ранее отмечался в литературе [1–3]. В исследовании были обобщены выборы моделей, процедуры верификации и методы обработки данных, что представлено в качестве воспроизводимого руководства для последующих оптимизационных исследований.

Ключевые слова: вертикально-осевая ветровая турбина типа SAVONIUS (VAWT); ANSYS CFX; переходный ротор-статор (TRS); модель турбулентности $k-\epsilon$; независимость от сети; отношение концевой скорости (TSR); коэффициент мощности (C_p).

СИНГУЛЯРЛЫ АУЫТҚЫҒАН ИНТЕГРАЛДЫ-ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ ТЕҢДЕУЛЕР ҮШІН ЕРЕКШЕЛІГІ БАР КОШИ ЕСЕБІ

Аннотация

Дауылбаев М.К.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,

Әбсадық Н.Ж.,
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық
университеті,
Алматы, Қазақстан,
absadyknuryla40@gmail.com

Бұл жұмыста екі үлкен туындысының алдында кіші параметрі бар үшінші ретті сингулярлы ауытқыған сызықты интегралды-дифференциалдық теңдеуді қарастырылады. Берілген Коши есебі шешімінің асимптотикалық бағалауын алу және асимптотикалық жинақтылығын зерттеу болып табылады.

Жұмыста үшінші ретті біртекті сингулярлы ауытқыған сызықты дифференциалдық теңдеудің іргелі шешімдер жүйесі, бастапқы функциялары құрылды және олардың кіші параметрдің нөлге ұмтылғандағы асимптотикалық өрнектері жазылды. Берілген Коши есебінің аналитикалық формуласы, асимптотикалық бағалауы және асимптотикалық сипаты алынды. Коши есебі шешімінің $t=0$ нүктесінде бірінші ретті екінші дәрежелі бастапқы секіріс құбылысы бар екені анықталды.

Түйін сөздер: сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеулер, бастапқы функциялар, Коши есебі, кіші параметр, асимптотикалық жіктеу.

КІРІСПЕ

Үлкен ретті туындысының алдында кіші параметрі бар сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеулер физика, астрофизика, химия, биология, механика және техника салаларындағы көптеген қолданбалы есептердің математикалық моделін құрайды. Ауытқу сипатына қарай олар регулярлы және сингулярлы ауытқыған деп жіктеледі.

Бұл жұмыста қарастырылатын сингулярлы ауытқыған теңдеулер дифференциалдық теңдеулердің маңызды класына жатады. Сингулярлы ауытқыған теңдеулер деп параметр енгізудің регулярлығы жөніндегі шарттар орындалмайтын теңдеулерді атайды. Мұндай есептердің негізгі ерекшелігі — жоғары ретті туындының алдында кіші параметрдің болуы.

Регулярлы ауытқыған есептермен салыстырғанда, сингулярлы ауытқыған есептерді шешу әлдеқайда күрделі. Себебі, мұндай жағдайда бастапқы сингулярлы ауытқыған есепке сәйкес келетін ауытқымаған есептің типі өзгеріп кетеді: мысалы, реттің төмендеуі, бастапқы шарттардың бір бөлігінің жойылуы және тағы басқа жағдайлар орын алады.

Академик А.Н. Тихоновтың кіші параметрі бар сызықты емес сингулярлы ауытқыған дифференциалдық теңдеулерге арналған еңбектері бұл теорияның дамуына айрықша серпін берді.

НЕГІЗГІ БӨЛІМ

Екі үлкен туындысының алдында кіші параметрі бар үшінші ретті сингулярлы ауытқыған сызықты интегралды-дифференциалдық теңдеуді қарастырайық:

$$L_{\varepsilon} y \equiv \varepsilon^2 y''' + \varepsilon A(t) y'' + B(t) y' + C(t) y = F(t) + \int_0^1 \sum_{i=0}^1 H_i(t, x) y^{(i)}(x, \varepsilon) dx \quad (1)$$

$$y^{(i)}(0, \varepsilon) = \alpha_i \quad i = \overline{0, 2}, \quad (2)$$

мұндағы $\varepsilon > 0$ - кіші параметр, ал α_i - белгілі тұрақты шамалар.

Келесі шарттар орындалсын:

I. $A(t), B(t), C(t), F(t)$ функциялары $0 \leq t \leq 1$ кесіндісінде, ал $H_0(t, x), H_1(t, x)$ функциялары $D = \{0 \leq t \leq 1, 0 \leq x \leq 1\}$ облысында үзіліссіз дифференциалданады.

II. $\mu^2 + A(t)\mu + B(t) = 0$ теңдеуінің түбірлері $\mu_i(t) < 0$, $i = 1, 2$ болсын.

III. 1 саны $H(t, s, \varepsilon)$ өзегінің меншікті мәні болмасын.

Іргелі шешімдер жүйесін құру үшін сингулярлы ауытқыған біртекті дифференциалдық теңдеуді қарастырайық:

$$L_\varepsilon y \equiv \varepsilon^2 y''' + \varepsilon A(t) y'' + B(t) y' + C(t) y = 0 \quad (3)$$

Бұл теңдеудің іргелі шешімдер жүйесі

$$\begin{cases} y_i^{(j)}(t, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon^j} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^t \mu_i(x) dx} (\mu^j(t) y_{i0}(t) + O(\varepsilon)), & i = 1, 2, \quad j = \overline{0, 2}, \\ y_3^{(j)}(t, \varepsilon) = y_{30}^{(j)}(t) + O(\varepsilon), & j = \overline{0, 2}. \end{cases} \quad (4)$$

түрінде анықталады, мұндағы $y_{30}(t) = e^{-\int_0^t \frac{B(x)}{A(x)} dx}$, ал $y_{10}(t), y_{20}(t)$ - функциялары келесі есептің шешімі болады:

$$A(t) y_{i0}'' + B(t) y_{i0}' + C(t) y_{i0} = 0, i = 1, 2.$$

$$y_{i0}^{(j)}(0) = \begin{cases} 1, j = i - 1 \\ 0, j \neq i - 1 \end{cases}, j = 0, 1, i = 1, 2.$$

Іргелі шешімдер жүйесінен құралған вронскианның асимптотикалық формуласы келесі түрде өрнектеледі:

$$\begin{aligned} W(s, \varepsilon) &= -\frac{1}{\varepsilon^3} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^s (\mu_1(x) + \mu_2(x)) dx} (\mu_1^2(s) y_{10}(s) \mu_2(s) y_{20}(s) y_{30}(s) + O(\varepsilon)) + \\ &+ \frac{1}{\varepsilon^3} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^s (\mu_1(x) + \mu_2(x)) dx} (\mu_2^2(s) \mu_1(s) y_{10}(s) y_{20}(s) y_{30}(s) + O(\varepsilon)) = \\ &= \frac{1}{\varepsilon^3} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_0^s (\mu_1(x) + \mu_2(x)) dx} (\mu_1(s) \mu_2(s) y_{10}(s) y_{20}(s) y_{30}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s)) + O(\varepsilon)) \end{aligned}$$

Келесі бастапқы функцияларды енгізейік:

$$K_i(t, s, \varepsilon) = \frac{W_i(t, s, \varepsilon)}{W(s, \varepsilon)}, i = \overline{1, 3}, \quad (5)$$

мұндағы: $W(s, \varepsilon) - (3)$ теңдеудің іргелі шешімдер жүйесінің вронскианы, ал $W_i(t, s, \varepsilon) -$ вронскиан $W(s, \varepsilon) -$ тің i -ші жатық жолын $y_1(t, \varepsilon), y_2(t, \varepsilon), y_3(t, \varepsilon)$ іргелі шешімдер жүйесімен алмастырғаннан алынатын анықтауыштар.

(4), (5) формулалардың көмегімен $K_i(t, s, \varepsilon)$, $i = \overline{1, 3}$, функцияларының келесі $\varepsilon \rightarrow 0$ асимптотикалық формулаларын аламыз:

$$\begin{aligned}
K_1^{(i)}(t, s, \varepsilon) &= -\varepsilon^{1-i} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_1(x) dx} \frac{\mu_2(s) y'_{30}(s) y_{10}(t) \mu_1^i(t)}{\mu_1(s) y_{10}(s) y_{30}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} + \\
&+ \varepsilon^{1-i} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_2(x) dx} \frac{\mu_1(s) y_{20}(t) y'_{30}(s) \mu_2^i(t)}{\mu_2(s) y_{20}(s) y_{30}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} - \frac{y_{30}^{(i)}(t)}{y_{30}(s)} + O(\varepsilon) \\
K_2^{(i)}(t, s, \varepsilon) &= \varepsilon^{1-i} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_1(x) dx} \frac{\mu_2(s) y_{10}(t) \mu_1^i(t)}{\mu_1(s) y_{10}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} - \\
&- \varepsilon^{1-i} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_2(x) dx} \frac{\mu_1(s) y_{20}(t) \mu_2^i(t)}{\mu_2(s) y_{20}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} - \varepsilon \frac{y_{30}^{(i)}(t) (\mu_2(s) + \mu_1(s))}{\mu_1(s) \mu_2(s) y_{30}(s)} + O(\varepsilon) \\
K_3^{(i)}(t, s, \varepsilon) &= \varepsilon^2 \frac{y_{30}^{(i)}(t)}{\mu_1(s) \mu_2(s) y_{30}(s)} - \varepsilon^{2-i} \frac{y_{10}(t) \mu_1^i(t)}{\mu_1(s) y_{10}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_1(x) dx} + \\
&+ \varepsilon^{2-i} \frac{y_{20}(t) \mu_2^i(t)}{\mu_2(s) y_{20}(s) (\mu_2(s) - \mu_1(s))} e^{\frac{1}{\varepsilon} \int_s^t \mu_2(x) dx} + O(\varepsilon).
\end{aligned} \tag{6}$$

(1), (2) есептің шешімін келесі түрде іздейміз:

$$y(t, \varepsilon) = C_1 K_1(t, 0, \varepsilon) + C_2 K_2(t, 0, \varepsilon) + C_3 K_3(t, 0, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t K_3(t, s, \varepsilon) z(s, \varepsilon) ds \tag{7}$$

мұндағы

$$z(t, \varepsilon) = F(t) + \int_0^1 (H_0(t, x) y(x, \varepsilon) + H_1(t, x) y'(x, \varepsilon)) dx \tag{8}$$

(7) → (8) Сонда,

$$z(t, \varepsilon) = f(t, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^1 \int_s^1 z(s, \varepsilon) (H_0(t, x) K_3(x, s, \varepsilon) + H_1(t, x) K_3'(x, s, \varepsilon)) dx ds;$$

Сонда $z(t, \varepsilon)$ үшін Фредгольмның II-текті интегралдық теңдеуін аламыз:

$$z(t, \varepsilon) = f(t, \varepsilon) + \int_0^1 H(t, s, \varepsilon) z(s, \varepsilon) ds \tag{9}$$

мұндағы

$$\begin{aligned}
f(t, \varepsilon) &= F(t) + C_1 \varphi_1(t, \varepsilon) + C_2 \varphi_2(t, \varepsilon) + C_3 \varphi_3(t, \varepsilon), \\
\varphi_i(t, \varepsilon) &= \int_0^1 (H_0(t, x) K_i(x, 0, \varepsilon) + H_1(t, x) K_i'(x, 0, \varepsilon)) dx \\
H(t, s, \varepsilon) &= \frac{1}{\varepsilon^2} \int_s^1 (H_0(t, x) K_3(x, s, \varepsilon) + H_1(t, x) K_3'(x, s, \varepsilon)) dx
\end{aligned} \tag{10}$$

III. 1 саны $H(t, s, \varepsilon)$ өзегінің меншікті мәні болмасын.

Онда (9) интегралдық теңдеудің шешімі жалғыз болады және ол келесі түрде өрнектеледі:

$$z(t, \varepsilon) = f(t, \varepsilon) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) f(s, \varepsilon) ds \quad (11)$$

мұндағы $R(t, s, \varepsilon) - H(t, s, \varepsilon)$ өзегінің резольвентасы. $f(t, \varepsilon)$ функциясы (10) формуласымен анықталады. (11) формуланы (7) – ге қойып, (1), (2) есептің шешімін келесі түрде өрнектейміз:

$$y(t, \varepsilon) = C_1 Q_1(t, \varepsilon) + C_2 Q_2(t, \varepsilon) + C_3 Q_3(t, \varepsilon) + P(t, \varepsilon) \quad (12)$$

мұндағы

$$Q_i(t, \varepsilon) = K_i(t, 0, \varepsilon) + \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t K_3(t, s, \varepsilon) \bar{\varphi}_i(s, \varepsilon) ds, \quad i = 1, 2, 3, \quad (13)$$

$$P(t, \varepsilon) = \frac{1}{\varepsilon^2} \int_0^t K_3(t, s, \varepsilon) \bar{F}(s, \varepsilon) ds,$$

$$\bar{\varphi}_1(t, \varepsilon) = \varphi_1(t, \varepsilon) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) \varphi_1(s, \varepsilon) ds$$

$$\bar{\varphi}_2(t, \varepsilon) = \varphi_2(t, \varepsilon) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) \varphi_2(s, \varepsilon) ds$$

$$\bar{\varphi}_3(t, \varepsilon) = \varphi_3(t, \varepsilon) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) \varphi_3(s, \varepsilon) ds$$

$$\bar{F}(t, \varepsilon) = F(t) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) F(s) ds = F(s) + \int_0^1 \bar{R}(t, s) F(s) ds + O(\varepsilon) \equiv \bar{F}(t) + O(\varepsilon),$$

$$\bar{H}(t, x, \varepsilon) = H(t, x) + \int_0^1 R(t, s, \varepsilon) H(s, x) ds = H(t, x) + \int_0^1 \bar{R}(t, s) H(s, x) ds + O(\varepsilon) \equiv \bar{H}(t, x) + O(\varepsilon).$$

$C_i, i = \overline{1, 3}$ белгісіз тұрақтылары үшін (10) формулаға (2) шарттарды қолданып, келесі алгебралық теңдеулер жүйесін аламыз.

$$\begin{cases} C_1 Q_1(0, \varepsilon) + C_2 Q_2(0, \varepsilon) + C_3 Q_3(0, \varepsilon) = \alpha_1 - P(0, \varepsilon) \\ C_1 Q_1'(0, \varepsilon) + C_2 Q_2'(0, \varepsilon) + C_3 Q_3'(0, \varepsilon) = \alpha_2 - P'(0, \varepsilon) \\ C_1 Q_1''(0, \varepsilon) + C_2 Q_2''(0, \varepsilon) + C_3 Q_3''(0, \varepsilon) = \alpha_3 - P''(0, \varepsilon) \end{cases}$$

осы жүйеден табамыз:

$$C_1 = \alpha_0, C_2 = \alpha_1, C_3 = \alpha_2.$$

Сонымен, келесі теорема дұрыс.

Теорема 1. Егер I-III шарттар орындалса, онда (1), (2) Коши есебінің шешімі $[0, 1]$ кесіндісінде бар, жалғыз және (12) формуламен өрнектеледі, мұндағы $Q_i(t, \varepsilon), i = \overline{1, 3}, P(t, \varepsilon)$ функциялары (13) формулаларымен анықталады.

Теорема 2. Егер I-III шарттар орындалса, онда (1), (2) есептің шешімі үшін келесі асимптотикалық бағалаулар орындалады:

$$\begin{aligned}
|y(t, \varepsilon)| &\leq C \left(|\alpha_0| + \varepsilon |\alpha_1| + \varepsilon^2 |\alpha_2| + \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right) + C e^{-\frac{\gamma t}{\varepsilon}} \left(\varepsilon |\alpha_0| + \varepsilon |\alpha_1| + \varepsilon^2 |\alpha_2| + \varepsilon \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right), \\
|y'(t, \varepsilon)| &\leq C \left(|\alpha_0| + \varepsilon |\alpha_1| + \varepsilon^2 |\alpha_2| + \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right) + C e^{-\frac{\gamma t}{\varepsilon}} \left(|\alpha_0| + |\alpha_1| + \varepsilon |\alpha_2| + \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right), \\
|y''(t, \varepsilon)| &\leq C \left(|\alpha_0| + \varepsilon |\alpha_1| + \varepsilon^2 |\alpha_2| + \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right) + \\
&+ \frac{C}{\varepsilon} e^{-\frac{\gamma t}{\varepsilon}} \left(|\alpha_0| + |\alpha_1| + \varepsilon |\alpha_2| + \max_{0 \leq t \leq 1} |F(t)| \right) \left| \frac{\mu_2(0) \mu_1^2(t)}{\mu_1(0)} - \frac{\mu_1(0) \mu_2^2(t)}{\mu_2(0)} \right|;
\end{aligned}$$

мұндағы $C > 0, \varepsilon$ -нан тәуелсіз тұрақтылар.

Теоремадан

$$\begin{aligned}
y^{(i)}(0, \varepsilon) &= O(1), i = \overline{0, 2} \\
y'''(0, \varepsilon) &= O\left(\frac{1}{\varepsilon^2}\right), \varepsilon \rightarrow 0
\end{aligned} \tag{14}$$

екендігі шығады. Бұл жағдайды $t = 0$ нүктесіндегі бірінші ретті екінші дәрежелі бастапқы секіріс құбылысы деп айтамыз.

ҚОРЫТЫНДЫ

Екі үлкен туындыларының алдында кіші параметрі бар үшінші ретті сызықты біртекті дифференциалдық теңдеудің іргелі шешімдер жүйесі, бастапқы функциялары құрылды және олардың асимптотикалық бағалаулары алынды. Қарастырылып отырған сингулярлы ауытқыған интегралды-дифференциалдық теңдеуге арналған есеп шешімінің аналитикалық формуласы алынды. Шешімнің асимптотикалық сипаты және асимптотикалық бағалауы, шекке көшу теоремалары дәлелденді. Сингулярлы ауытқыған Коши есебі шешімінің бастапқы нүктесінде бірінші ретті екінші дәрежелі бастапқы секірісінің бар екендігі алынды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- [1] Тихонов А. Н. О системах дифференциальных уравнений, содержащих параметры // Математический сборник. - 1950. - 27(69). - С. 147–156.
- [2] Васильева А. Б., Бутузов В.Ф. Асимптотические разложения решений сингулярно возмущенных уравнений // М.: Наука, 1973, 272 с.
- [3] Иманалиев М.И. Асимптотические методы в теории сингулярно возмущенных интегро-дифференциальных систем // Фрунзе: Илим, 1972, 356 с.
- [4] Ломов С. А. Введение в общую теорию сингулярных возмущений // М.: Наука, 1981, 400 с.
- [5] Касымов К.А. Сингулярно возмущенные краевые задачи с начальными скачками - Алматы, Изд-во «Санат», 1987.-176 с.
- [6] Шишкин Г. А. Линейные интегро-дифференциальные уравнения Фредгольма. Изд-во БГУ. Улан-Удэ. 2007г.
- [7] Дауылбаев М.К. Линейные интегро-дифференциальные уравнения с малым параметром. Алматы, «Қазақ университеті», 2009 г.
- [8] М.К.Дауылбаев, А.Е. Мирзакулова Краевые задачи с начальными скачками для сингулярно возмущенных интегро-дифференциальных уравнений // Нелинейные колебания, Том 19, №1, 2016, 11–21 с.
- [9] Dauylbaev M.K., Mirzakulova A.E. Asymptotic behavior of solutions of singular integro-differential equations // Discontinuity, Nonlinearity and Complexity, 5(2), 2016, 147-154 p.
- [10] Дауылбаев М.К., Азанова А. Н. Краевые задачи для сингулярно возмущенных линейных интегро-дифференциальных уравнений // Материалы VI Международной научной конференции «Проблемы дифференциальных уравнений, анализа и алгебры». Актобе, 2012. С. 4–6.

CAUCHY PROBLEM WITH SINGULARITY FOR SINGULARLY PERTURBED INTEGRO-DIFFERENTIAL EQUATIONS

Daulbayev M.K.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,

Absadyk N.Zh.,
Al-Farabi Kazakh National University,
Almaty, Kazakhstan,
absadyknuryla40@gmail.com

Abstract

This paper deals with a singularly perturbed linear integro-differential equation of third order with a small parameter at the highest derivatives. The aim is to obtain an asymptotic estimate of the solution to the given Cauchy problem and to investigate its asymptotic convergence. The study constructs the system of fundamental solutions and initial functions for the homogeneous singularly perturbed linear differential equation of third order, and derives their asymptotic expressions as the small parameter tends to zero. An analytical formula, an asymptotic estimate, and the asymptotic behavior of the solution to the given Cauchy problem are obtained. It is established that the solution of the Cauchy problem exhibits a first-order, second-degree initial jump phenomenon at the point $t = 0$.

Keywords: singular differential integral equations, initial functions, Cauchy theorem, small parameter, asymptotic classification.

ЗАДАЧА КОШИ С ОСОБЕННОСТЬЮ ДЛЯ СИНГУЛЯРНЫХ ВОЗМУЩЁННЫХ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Даулбаев М.К.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан,

Абсадык Н.Ж.,
Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Алматы, Казахстан,
absadyknuryla40@gmail.com

Аннотация

В данной работе рассматривается сингулярно возмущённое линейное интегро-дифференциальное уравнение третьего порядка с малым параметром при старших производных. Целью исследования является получение асимптотической оценки решения данной задачи Коши и изучение её асимптотической сходимости. В работе построена система фундаментальных решений и начальных функций для однородного сингулярно возмущённого линейного дифференциального уравнения третьего порядка, а также выписаны их асимптотические выражения при стремлении малого параметра к нулю. Получены аналитическая формула, асимптотическая оценка и асимптотический характер решения данной задачи Коши. Установлено, что решение задачи Коши обладает скачкообразным явлением начального слоя первого порядка второй степени в точке $t = 0$.

Ключевые слова: сингулярные дифференциальные интегральные уравнения, начальные функции, теорема Коши, малый параметр, асимптотическая классификация.

The background is a vibrant blue with a complex, abstract design. It features a stylized globe in the upper right, composed of a grid of dots and lines. A series of bright, glowing light rays or energy beams originate from the bottom left and fan out towards the right side of the image. The overall aesthetic is high-tech and futuristic.

CENTRAL ASIA SCIENCE REVIEW