

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2024 • 4



«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ
АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK

БАС РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабыл Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корея биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны оңтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Ноганович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдард университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжін профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н=1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

ҚАШИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШҚАЕВ Қуантай Авағзыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Nemandó, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖҮСІПОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № KZ93ZYU00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы құалық.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлексабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендирович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБИЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛОКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (СПША), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктур-рваных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарной медицины ТОО «Научно-производственный центр животноводства и ветеринарии» (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУНОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нурғали Жабағевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстанско-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOV Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

UDC 504.054;66.074.5

M.T. Telmanov*, **B.Kh. Khussain**, **A.Kh. Khussain**, **A.R. Brodskiy**, 2024.

D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: m.telmanov@ifce.kz

CREATION OF DIGITAL TWINS, INCLUDING THE DECARBONISATION MODULE, IN MODELLING AND VISUALISATION OF FLUE GAS CLEANING SYSTEMS IN INDUSTRIAL PLANTS

Telmanov Merlan Mirzhanovich – master student, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Khussain Bolatbek Khussainovich – professor of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan Deputy Director General for Innovation Activities, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan, E-mail: b.khussain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Khussain Atabek Khussainovich – master student, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Brodskiy Alexander Rafaelevich – candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Physical Methods, JSC “D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry”, Almaty, Kazakhstan E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>;

Abstract: Digital twins are becoming an important tool for monitoring and optimizing industrial processes, especially in the field of gas emission cleaning. This paper discusses the process of creating a digital twin of a thermal power plant (TPP) emission cleaning system on the Unity platform. An analysis of the air pollution problem created by coal-fired CHP plants is provided and describes how the digital twin can help improve the efficiency of emissions cleaning. Unity is used to create a 3D model of the facilities and simulate the operation of the cleaning equipment with integration of real-time data. The visualization allows monitoring of system performance parameters, running simulations and optimizing cleaning equipment settings. Creation of a digital twin allows not only to control the state of the equipment, but also to train operators, minimizing the risks of emergency situations. The proposed approach can be applied to improve the environmental situation in various regions seeking to reduce pollutant emissions into the atmosphere.

Keywords: Digital twin, unity, emission control system, thermal power plant (TPP), coal-fired power plants, data visualization, simulation of industrial processes, reduction of pollutant emissions.

М.Т. Тельманов*, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, 2024.

Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты,
Алматы, Қазақстан.
E-mail: m.telmanov@ifce.kz

ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ МОДУЛІМЕН БІРГЕ ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН ГАЗДАРЫН ТАЗARTU ЖҮЙЕЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ

Тельманов Мерлан Миржанович – магистрант, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Хусаин Болатбек Хусаинович – ф.ғ.д., ҚРҰ ғылым академиясының профессоры Бас директордың инновациялық қызмет жөніндегі орынбасары, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Хусаин Атабек Хусаинович – магистр, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Бродский Александр Рафаэлевич – химия ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, физикалық әдістер зертханасының меңгерушісі, «Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты», Алматы, Қазақстан, E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>.

Аннотация: Цифрлық егіздер өнеркәсіптік процестерді, әсіресе газ шығарындыларын өңдеу саласында мониторинг пен оңтайландырудың маңызды құралына айналууда. Бұл мақалада Unity платформасында жылу электр станциясының (ЖЭО) шығарындыларын тазарту жүйесінің цифрлық егізін құру процесі талқыланады. Ол көмірмен жұмыс істейтін жылу электр станциялары тудыратын ауаның ластану мәселесін талдайды және сандық егіздің шығарындыларды тазарту тиімділігін арттыруға қалай көмектесетінін сипаттайды. Unity объектілердің 3D моделін жасау және нақты уақыт деректерін біріктіру арқылы ағынды суларды тазарту жабдығының жұмысын модельдеу үшін қолданылады. Визуализация жүйенің жұмыс параметрлерін бақылауға, модельдеуді жүргізуге және өңдеу жабдығының параметрлерін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Цифрлық егізді құру жабдықтың жай-күйін бақылауға ғана емес, сонымен қатар төтенше жағдайлардың қаупін барынша азайта отырып, операторларды оқытуға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл атмосфераға ластаушы заттардың шығарындыларын азайтуға ұмтылатын әртүрлі аймақтардағы экологиялық жағдайды жақсарту үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: Цифрлық егіз, unity, эмиссияны тазарту жүйесі, термиялық электр станциясы (ЖЭО), көмірмен жұмыс істейтін электр станциялары, деректерді визуализациялау, өндірістік процестерді модельдеу, ластаушы заттардың шығарындыларын азайту.

М.Т. Телманов*, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, 2024.

Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского,

Алматы, Казахстан.

E-mail: m.telmanov@ifce.kz

СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЯ МОДУЛЬ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Тельманов Мерлан Миржанович – магистрант, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», г. Алматы, Казахстан, E-mail: m.telmanov@ifce.kz, <https://orcid.org/0009-0007-9193-8414>;

Хусаин Болатбек Хусаинович – к.т.н., профессор НАН РК Заместитель генерального директора по инновационной деятельности, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В.Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: b.khusain@ifce.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7731-6976>;

Хусаин Атабек Хусаинович – магистр, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии имени Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан, E-mail: atabek.khussain@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0899-6872>;

Бродский Александр Рафаэлевич – кандидат химических наук, доцент, Заведующий лабораторией физических методов, АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», г. Алматы, Казахстан, E-mail: albrod@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6216-4738>.

Аннотация: Цифровые двойники становятся важным инструментом для мониторинга и оптимизации промышленных процессов, особенно в сфере очистки газовых выбросов. В данной статье рассматривается процесс создания цифрового двойника системы очистки выбросов тепловой электростанции (ТЭЦ) на платформе Unity. Приводится анализ проблемы загрязнения воздуха, создаваемого ТЭЦ, работающих на угле, и описывается, как цифровой двойник может способствовать повышению эффективности очистки выбросов. Unity используется для создания трехмерной модели объектов и симуляции работы очистного оборудования с интеграцией данных, получаемых в реальном времени. Визуализация позволяет отслеживать параметры работы системы, проводить симуляции и оптимизировать настройки очистного оборудования. Создание цифрового двойника позволяет не только контролировать состояние оборудования, но и обучать операторов, минимизируя риски аварийных ситуаций. Предложенный подход может быть использован для улучшения экологической ситуации в различных регионах, стремящихся к снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Ключевые слова: цифровой двойник, Unity, система очистки выбросов, тепловая электростанция (ТЭЦ), угольные электростанции, визуализация данных, симуляция промышленных процессов, снижение выбросов загрязняющих веществ.

Работа выполнена при финансовой поддержке по программе целевого финансирования МОН РК ИРН BR21882241 «Исследование и разработка

комплексной системы улавливания и хранения CO₂ на промышленных объектах Республики Казахстан для сокращения выбросов парниковых газов».

Введение

Тепловые электростанции (ТЭЦ), работающие на ископаемом топливе, играют ключевую роль в обеспечении теплом и электроэнергией потребителей Казахстана, однако их работа сопровождается значительными загрязняющими выбросами в атмосферу. В 2006 году объем выбросов составлял 4,85 тыс. тонн, а к 2018 году эта цифра увеличилась до 10,4 тыс. тонн. При этом ТЭЦ-2 (г. Алматы) в 2016 году выбросила 11% всех загрязнителей воздуха в регионе (Moldagazyeva, et al, 2021).

Проблема загрязнения воздуха особенно актуальна в связи с воздействием на здоровье населения и окружающую среду. На предприятиях, использующих различные виды сырья, формируется широкий спектр загрязнителей, включая эфиры уксусной кислоты, формальдегид, нафталин и многие другие вещества. Эти выбросы значительно ухудшают качество воздуха, что создает необходимость в поиске и внедрении технологий для их сокращения.

Проблему можно решить через декарбонизацию, используя мультимодульные системы (Khussain, et al, 2024), которые включают модули предварительной очистки дымовых газов, а также системы для улавливания, сбора и утилизации выбросов от тепловых устройств, работающих на ископаемом топливе. Модули предварительной очистки являются необходимыми, поскольку дымовые газы содержат не только диоксид углерода, но и множество других вредных веществ, включая пылевые частицы различной дисперсии. После предварительной очистки полученный чистый диоксид углерода можно использовать в тепличных хозяйствах, производстве соды, в пищевой промышленности, а также для производства метанола, удобрений и других продуктов.

Вместе с тем, создания систем очистки, включая декарбонизацию, требуют больших капитальных вложений, что обусловлено сложностью их проектирования и привязки к конкретным объектам. Существенно снизить затраты возможно путём использования информационных технологий.

Развитие современных информационных технологий в производстве связано с активным внедрением теории и практики цифровых двойников (Radhakisan, et al, 2011). Традиционные подходы к проектированию, такие как имитационные и корреляционные модели, постепенно уступают место более технологичным методам описания реального мира в цифровой среде. Например, цифровой двойник максимально точно отражает сложность объекта, прогнозируя его свойства, функции и поведение, а также реакцию на различные внешние воздействия и взаимодействие с другими цифровыми двойниками, отображая поведение объектов в реальной среде (Rosen, et al, 2015).

За последние годы интерес к цифровым двойникам значительно возрос, что подтверждается увеличением числа научных публикаций, описывающих концепции и методы применения цифровых двойников, таких как компьютерное интегрированное производство (Computer-Integrated Manufacturing, CIM) (Laengle,

et al, 2018), информационное моделирование зданий (Building Information Modeling, BIM) (Abramovici, et al, 2017), мониторинг состояния оборудования и механизмов (Ayani, et al, 2018), а также виртуальные производственные системы (Baruffaldi, et al, 2019). Концепция CIM рассматривается как предшественник теорий и практического использования цифровых двойников. СИМ-модели способны точно моделировать объекты реального мира, обеспечивая высокую точность их описания и эффективное представление процессов, в которых эти объекты участвуют.

Как отмечается в (Radhakisan, et al, 2011), ключевой особенностью цифровых двойников является тесное взаимодействие между физическими объектами и их цифровыми аналогами. Электромеханические системы могут быть преобразованы в цифровые, что значительно упрощает моделирование и управление процессами не только в производстве, но и в других сферах.

Главная цель цифрового двойника - улучшение понимания работы реальных объектов и оптимизация их работы за счет моделирования различных сценариев и условий эксплуатации. С помощью цифрового двойника можно заранее предсказать возможные сбои, оптимизировать процессы, а также улучшить эффективность управления оборудованием и ресурсами.

В контексте очистки выбросов промышленных предприятий цифровой двойник позволяет воспроизвести весь процесс в виртуальной среде, оценить эффективность различных технологий очистки и протестировать их в условиях, максимально приближенных к реальности. Это особенно актуально для таких сложных объектов, как ТЭЦ, где множество факторов влияют на выбросы и их состав.

Материалы и основные методы

Для создания цифрового двойника применялась платформа Unity. Это универсальная платформа для разработки 3D-симуляций и игр, нашедшая широкое применение не только в индустрии развлечений, но и в промышленности. Одним из ключевых направлений использования Unity стало создание цифровых двойников - интерактивных виртуальных моделей реальных объектов и систем. С её помощью возможно визуализировать данные в реальном времени и эффективно управлять процессами, что значительно облегчает мониторинг и оптимизацию работы оборудования.

Процесс разработки цифрового двойника состоит из нескольких ключевых этапов:

На первом этапе выбираются целевые объекты, которые будут включены в цифровую модель. Для системы очистки выбросов — это такие элементы, как электрофильтры, катализаторы, эмульгаторы и блоки для сбора углекислого газа (CO₂).

Далее, с использованием программы Blender создаются трехмерные модели. Они проектируются с учетом реальных размеров, пропорций и функциональных особенностей, чтобы максимально точно отразить внешний вид и структуру объектов.

После завершения моделирования модели экспортируются в формате, совместимом с Unity (например, FBX), и импортируются в целевую среду. В Unity проводится оптимизация моделей для повышения производительности симуляции. Это включает снижение количества полигонов для второстепенных объектов, настройку уровней детализации (LOD), а также использование текстур с оптимальным разрешением.

На модели накладываются ограничения, отражающие их физические свойства. Применяются карты нормалей и отражений для создания реалистичного взаимодействия света с поверхностями. После этого добавляются анимации, позволяющие демонстрировать работу объектов, например, движение фильтров, работу катализаторов или процессы сборки CO₂.

Следующий этап – интеграция с математическими моделями, описывающими физические и химические процессы. Это позволяет синхронизировать визуальные элементы с данными, поступающими в реальном времени, и проводить точное моделирование работы оборудования.

Завершающим шагом является тестирование и отладка, чтобы убедиться в функциональности модели, ее точности и соответствии реальным объектам. Такой процесс разработки позволяет создавать реалистичные цифровые двойники, которые используются как для обучения операторов, так и для анализа и оптимизации работы системы очистки в целом.

Результаты и обсуждение

Электрофильтр - визуализирован как цилиндрический блок с внутренними пластинами, которые имитируют процесс осаждения частиц за счет электрического заряда.

Результаты моделирования:

Анимация притягивания частиц к пластинам при включении электрофильтра.

Графическое отображение накопления частиц и их удаления.

Возможность регулировать параметры, такие как напряжение и скорость потока, с изменением эффективности фильтрации в реальном времени.

Катализатор - визуализирован как прямоугольный блок с пористыми внутренними структурами, через которые проходят газы.

Результаты моделирования:

Анимация движения молекул через пористую структуру катализатора.

Реализация химических реакций с изменением состава газа (например, превращение NO_x в безвредные N₂ и O₂).

Визуализация снижения концентрации вредных веществ на выходе.

Эмульгатор – Визуализирован как устройство с вращающимся элементом для перемешивания газа с жидкостью.

Результаты моделирования:

Анимация смешивания газов с жидкой средой.

Симуляция изменения цвета эмульсии в зависимости от насыщенности газом.

Визуализация процессов связывания вредных веществ, таких как SO₂.

Блок сбора CO₂ - система, включающая абсорбер и резервуар для сбора CO₂.
Результаты моделирования:

Анимация потока газа через абсорбер, где CO₂ связывается специальным раствором.

Визуализация накопления CO₂ в резервуаре.

Возможность анализа данных в реальном времени, включая количество собранного CO₂ и эффективность процесса.

Общий процесс - вся система смоделирована как единый технологический поток.

Результаты моделирования:

Визуализация последовательного прохождения выбросов через все этапы очистки.

Возможность изменять параметры (например, скорость потока или температуру) и наблюдать за их влиянием на эффективность.

Анимация работы всей системы с реалистичной физикой и динамикой.

Визуальные и функциональные результаты:

Графика - детализированные 3D-модели с текстурами и реалистичным освещением.

Интерактивность - возможность взаимодействия с каждым объектом (например, настройка параметров или включение/выключение).

Данные: - отображение данных в реальном времени, таких как эффективность фильтрации, объем собранного CO₂ и химический состав выбросов на каждом этапе.

Обучение и анализ: - использование цифрового двойника для обучения операторов и тестирования различных сценариев работы системы.

Таким образом, процесс моделирования позволяет достичь высокой точности и наглядности, делая цифровой двойник полезным инструментом как для оптимизации работы системы, так и для обучения

Математические модели

Выражения, необходимые для построения реалистичных симуляций в Unity:

Массовый баланс используется для описания движения вещества через систему и помогает определить количество загрязняющих веществ на каждом этапе

$$\sum_{\text{вход}} m_{\text{вход}} = \sum_{\text{выход}} m_{\text{выход}} + m_{\text{накопление}} \quad (1)$$

где m - масса загрязняющих веществ, входящих в систему, выходящих из нее и накапливающихся на различных этапах. Этот баланс помогает установить равновесие системы и оценить эффективность фильтров.

Энергетический баланс, позволяет учитывать количество энергии, необходимое для работы системы и поддержания процессов фильтрации и улавливания газа

$$Q_{\text{вход}} + W_{\text{вход}} = Q_{\text{выход}} + W_{\text{выход}} + \Delta E \quad (2)$$

где Q — количество тепла, W — работа, и E — изменение внутренней энергии системы.

- закон Кулона для точечного заряда, описывает силу, с которой взаимодействуют два точечных заряда

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \quad (3)$$

где E — напряженность электрического поля (В/м), q — величина точечного заряда (Кл), r — расстояние от заряда до точки, в которой измеряется поле (м), ϵ_0 — электрическая постоянная, приблизительно равная 8.85×10^{-12} Ф/м.

Уравнение Пуассона для описания распределения электрического потенциала ϕ в пространстве, создаваемого электродами, если в пространстве присутствует объемный заряд с плотностью ρ , уравнение Пуассона принимает вид:

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (4)$$

где $\nabla^2 \phi$ — лапласиан потенциала, описывающий кривизну потенциала в пространстве, ρ — плотность заряда (Кл/м³), ϵ_0 — электрическая постоянная (8.85×10^{-12} Ф/м).

Скорость химических реакций (каталитическая очистка) с моделированием движения воздушного потока в пространстве, для расчета движения частиц или потоков вокруг электродов и в системе очистки, применялось уравнение Навье-Стокса

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} * \nabla \vec{v} \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 \vec{v} + \vec{f} \quad (5)$$

где: ρ - плотность жидкости или газа (кг/м³), \vec{v} - скорость потока (м/с), $\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}$ — производная скорости по времени, ∇p — градиент давления (Н/м²), μ — коэффициент динамической вязкости (Па·с), $\nabla^2 \vec{v}$ — лапласиан скорости, учитывающий вязкость потока, \vec{f} — внешние силы, приложенные к потоку, например, сила тяжести.

Скорость потока (U) и число Рейнольдса (Re), используются выражения
Средняя скорость потока U :

$$U = \frac{4V}{3600\pi D^2} \quad (6)$$

где: V — объёмный расход (м³/ч), D — диаметр трубы (м), $\pi \approx 3.14159$.
число Рейнольдса Re

$$Re = \frac{U * D * \rho}{\eta} \quad (7)$$

где: U — средняя скорость потока (м/с), D — характерный размер, обычно диаметр трубы (м), ρ — плотность воздуха или газа (кг/м^3), η — динамическая вязкость ($\text{Па}\cdot\text{с}$).

Число Рейнольдса является важным параметром, определяющим режим потока: ламинарный или турбулентный. Значение $Re < 2300$ указывает на ламинарный поток, тогда как $Re > 4000$ — на турбулентный.

Создание схем

На этапе создания цифрового двойника в Unity, разработка схем позволяет структурировать и визуализировать весь процесс работы очистных систем. Схемы упрощают понимание сложных технологических процессов и помогают отобразить ключевые элементы системы. Были разработаны две основные схемы, каждая из которых выполняет свою роль в описании работы системы:

На рисунке 1 приведена общая схема комплекса очистки дымовых газов

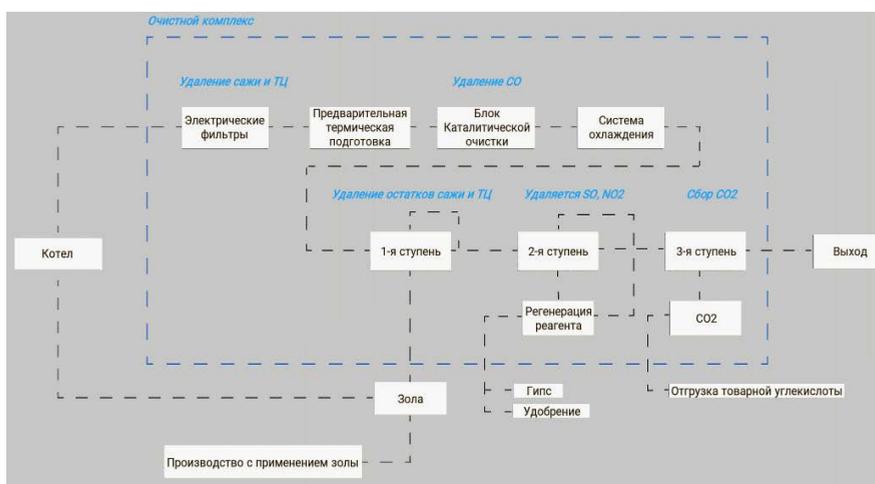


Рисунок 1 - Общая схема комплекса очистки дымовых газов

Эта схема (рисунок 1) отражает общую структуру очистного комплекса, начиная от подачи газа из теплового устройства (котла) и заканчивая его выходом после очистки. На схеме выделены все ключевые элементы, участвующие в процессе очистки дымовых газов.

Электрические фильтры - удаляют сажу и твердые частицы из газов, выходящих из котла.

Блоки предварительной термической подготовки - подготавливают газ к дальнейшему очищению, снижая его температуру и обеспечивая оптимальные условия для следующих этапов.

Блоки каталитической очистки - служат для удаления монооксида углерода (CO) и других токсичных компонентов с использованием катализаторов.

Системы охлаждения - обеспечивают снижение температуры газа перед поступлением в дальнейшие стадии очистки.

Этапы удаления серы (SO) и диоксида азота (NO₂) - выполняются в несколько стадий, обеспечивая высокую степень очистки от загрязняющих веществ.

Сбор CO₂ - - осуществляется на финальной стадии, где углекислый газ выделяется из газового потока для последующей обработки и использования в производственных процессах.

Схема (рисунок 1) позволяет визуализировать взаимодействие всех компонентов системы и наглядно показать изменение условий на одном из этапов может повлиять на весь процесс.

На рисунке 2 более детально показана схема модуля декарбонизации.

Схема, приведённая на рисунке.2 детализирует процесс извлечения углекислого газа из потока дымовых газов. Она иллюстрирует процесс сбора CO₂ и какие элементы оборудования участвуют в этом процессе. На схеме отражены:

- два адсорбера, которые поочерёдно подключаются к процессу поглощения углекислого газа, а после насыщения также поочерёдно происходит их регенерация со сбором и утилизацией CO₂;

- система управления клапанами - регулируют поток газа между адсорберами, клапаны помогают направлять поток в зависимости от того, какой адсорбер в данный момент активен;

- компрессоры - сжимают очищенный газ, работая на нескольких стадиях постепенно повышая давление газа, обеспечивая оптимальные условия для последующего отделения и утилизации CO₂;

- блок конденсации – обеспечивает охлаждение сжатого газового потока и конденсация водяного пара, отделяя воду от CO₂;

- отвод очищенного CO₂ - направляется на дальнейшую обработку и утилизацию.

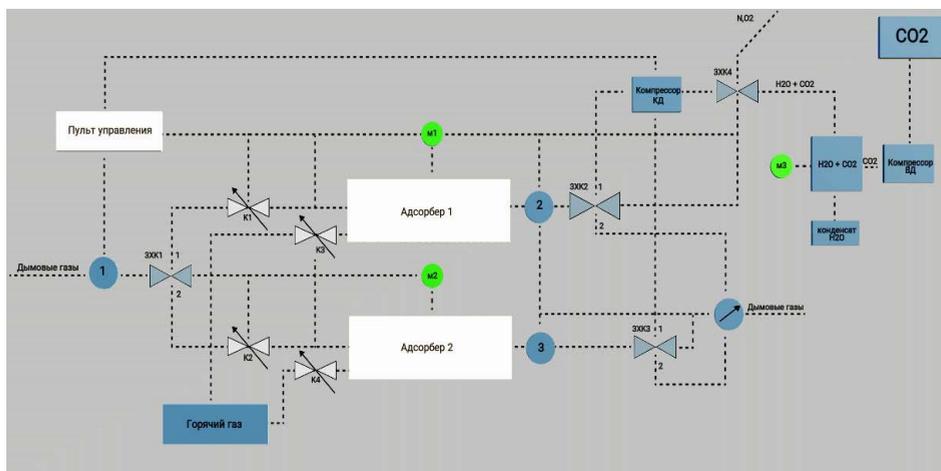


Рисунок 2 – Схема модуля декарбонизации

Схема (рисунок 2) показывает, как происходит извлечение углекислого газа на каждой стадии, какие параметры регулируются (давление, температура) и как

взаимодействуют между собой компоненты модуля декарбонизации. Эта схема помогает более точно анализировать эффективность работы модуля и вносить необходимые изменения в виртуальной модели, прежде чем внедрять их на реальном объекте.

Интеграция с данными реального времени.

Интеграция с данными реального времени - ключевой этап создания цифрового двойника, обеспечивающий связь между виртуальной моделью и физическим объектом. Этот процесс включает несколько взаимосвязанных этапов:

Подключение датчиков

На физическом оборудовании устанавливаются датчики, которые собирают данные о параметрах работы системы. Это могут быть показатели температуры, давления, концентрации загрязняющих веществ, скорости потоков и другие параметры. Так, в системе очистки выбросов датчики могут измерять концентрацию CO₂ на каждом этапе очистки, температуру газового потока и эффективность фильтрации.

Передача данных в реальном времени

Собранные датчиками данные передаются через сеть (локальную или облачную) в систему управления. Для интеграции с Unity эти данные могут быть переданы в формате JSON, XML или через API, разработанный специально для конкретной установки. Unity поддерживает взаимодействие с внешними источниками данных через такие протоколы, как REST или WebSocket, что позволяет обеспечить надежный обмен данными в режиме реального времени.

Обработка данных в Unity.

Данные, поступающие от датчиков, обрабатываются внутри «игрового» движка. Для этого создаются скрипты на C#, которые принимают входящие значения и преобразуют их для работы с визуальными и симуляционными компонентами. Например, изменение температуры в реальном оборудовании может динамически менять цветовую гамму объекта в Unity (тепловую карту) или влиять на скорость движения потока частиц в анимации.

Синхронизация параметров с виртуальными объектами

Параметры, полученные в реальном времени, напрямую связываются с компонентами модели в Unity. Например:

Данные о концентрации CO₂ обновляют показатели в информационных панелях, отображаемых пользователю.

Изменения давления в системе анимируют работу клапанов или компрессоров.

Реальные измерения температуры визуализируются в виде градиента теплового излучения на трубах и фильтрах.

Создание интерфейса для мониторинга

Unity позволяет разрабатывать удобные интерфейсы для визуализации данных. На экране оператора отображаются актуальные показатели, которые обновляются в реальном времени. Для удобства мониторинга могут быть созданы интерактивные графики, схемы и предупреждения о выходе параметров за допустимые пределы.

Реализация симуляции на основе данных

Данные реального времени используются для запуска симуляций в виртуальной среде. Например, если датчики обнаруживают повышение концентрации CO₂, цифровой двойник может предсказать, как это повлияет на эффективность системы очистки и предложить оптимальные настройки оборудования. Такие симуляции позволяют анализировать возможные сценарии без риска для реального оборудования.

Обратная связь с физической системой

При необходимости цифровой двойник может передавать данные обратно в реальное оборудование, автоматизируя корректировку его работы. Например, при обнаружении снижения эффективности фильтров система может автоматически предложить изменение потока газа или температуру, что будет применено в реальной установке.

Обеспечение безопасности данных

Для работы с данными реального времени важна защита информации. В системе интеграции используются методы шифрования, контроля доступа и резервного копирования, чтобы избежать несанкционированного доступа или потери данных.

Таким образом, используемый подход обеспечивает непрерывное обновление состояния виртуальной модели, что делает цифровой двойник не только инструментом визуализации, но и мощным средством анализа, оптимизации и управления процессами

Симуляция процессов и анализ данных

Симуляция процессов и анализ данных - один из наиболее важных этапов работы с цифровыми двойниками, который позволяет виртуально моделировать различные сценарии работы системы, анализировать их и принимать оптимальные решения. Этот процесс включает несколько ключевых шагов:

Создание сценариев симуляции

На основе данных, поступающих от реальной системы или заданных вручную, разрабатываются сценарии, которые воспроизводят различные условия работы. Например, в системе очистки выбросов можно моделировать:

Изменения скорости потока газа.

Снижение эффективности электрофильтров из-за загрязнений.

Аварийные ситуации, такие как перегрев или утечка газа.

Использование физических моделей

Для симуляции процессов применяются математические и физические модели, описывающие реальные явления. Например:

Массовый и энергетический балансы — для расчета движения вещества и энергии через систему.

Законы аэродинамики — для моделирования потока газа, используя уравнения Навье-Стокса.

Химические реакции — для анализа эффективности каталитической очистки газов.

Эти расчеты реализуются в Unity с помощью скриптов на C#, которые динамически обновляют параметры симуляции.

Визуализация процессов

Симуляция становится наглядной благодаря визуальным эффектам. Unity позволяет отображать:

Потоки газа в виде частиц с анимацией, демонстрирующей их направление и скорость.

Изменение концентрации веществ, используя тепловые карты или градиенты цвета.

Движение компонентов системы, таких как клапаны, компрессоры или фильтры.

Проведение анализа данных

Для создания дашбордов в Google Sheets данные организуются в таблицах, где они группируются по категориям. Это могут быть временные ряды (например, связь показателей с временными метками) или агрегированные результаты, такие как средняя концентрация CO₂ за сутки. Для упрощения работы с данными создаются отдельные вкладки для различных типов информации, таких как «Эффективность фильтров», «Температура системы» или «Поток газа».

Используются формулы и сводные таблицы для вычисления ключевых показателей. Например, средняя эффективность системы рассчитывается с помощью формулы =AVERAGE (range), а изменения параметров - с использованием разности текущего и предыдущего значений. Сводные таблицы помогают структурировать и анализировать данные, группируя их по временным интервалам, дате или типу процесса.

Для визуализации информации в Google Sheets создаются диаграммы. Линейные графики используются для отслеживания изменений параметров с течением времени, столбчатые диаграммы — для сравнения эффективности на разных стадиях, а круговые — для анализа распределения энергозатрат. Эти графики настраиваются с учетом цветов, подписей и легенд, чтобы сделать данные более понятными.

На отдельной вкладке объединяются ключевые элементы, такие как графики и таблицы, в форме визуального дашборда. Для лучшего восприятия добавляются текстовые аннотации, отметки о превышении допустимых норм и указания на отклонения. Такой подход позволяет быстро анализировать данные и выявлять важные тенденции.

Для подготовки данных для симуляции в Unity собирается информация, поступающая от датчиков или моделируемая в «движке», например, концентрация CO₂, скорость потоков и температура. Эти данные фиксируются в виде массивов или таблиц и могут быть сохранены локально либо отправлены в облачное хранилище для дальнейшего анализа. Unity позволяет экспортировать данные в Google Sheets, используя API-интерфейсы или интеграцию с Google Sheets API for Unity. С помощью этой библиотеки данные, такие как показатели температуры, давления и эффективности фильтров, передаются в заданные диапазоны таблиц.

Формат отправки данных в Google Sheets через Unity:

```
using Google.Apis.Sheets.v4;  
using Google.Apis.Sheets.v4.Data;
```

Формат отправки данных в Google Sheets:

```
private void SendDataToGoogleSheet(string spreadsheetId, string range,  
IList<IList<object>> data){var request = new ValueRange { Values = data };  
var updateRequest = sheetsService.Spreadsheets.Values.Update(request,  
spreadsheetId, range);  
updateRequest.ValueInputOption = SpreadsheetsResource.ValuesResource.  
UpdateRequest.ValueInputOptionEnum.RAW;  
var response = updateRequest.Execute();
```

Этот процесс позволяет эффективно синхронизировать данные из Unity с таблицами Google Sheets, что делает их доступными для анализа и визуализации.

Тестирование альтернативных решений

Симуляция позволяет виртуально протестировать различные настройки оборудования и технологии очистки. Например:

Оценить, как использование нового типа катализатора повлияет на эффективность.

Проверить, как изменение скорости потока газа повлияет на эффективность фильтрации и энергопотребление.

Моделировать различные сценарии, такие как рост концентрации CO₂ или выход из строя одного из компонентов.

Оптимизация процессов

На основе анализа данных выявляются узкие места и оптимальные параметры работы системы. Например:

Можно найти оптимальную температуру или давление для работы фильтров.

Определить, какой режим работы компрессоров минимизирует энергопотребление при максимальной эффективности.

Этот этап позволяет углубить понимание протекающих процессов, повысить их эффективность, минимизировать риски и обеспечить надежную работу системы очистки. Использование Unity как платформы для симуляции делает процесс интерактивным, визуально понятным и легким для анализа

Заключение

В работе подробно рассмотрен процесс построения и использования математических моделей, а также настройки взаимодействий и визуальных эффектов для наглядного отображения всех этапов процесса очистки дымовых газов промышленных предприятий. Использование Unity для разработки таких моделей позволяет не только улучшить визуальное представление работы системы очистки в целом, но и создать удобные инструменты для мониторинга и анализа

данных в реальном времени. Это, в свою очередь, поможет операторам и инженерам быстрее принимать обоснованные решения по улучшению функционирования системы, прогнозировать её поведение при различных сценариях работы и предотвращать потенциальные сбои.

Резюмируя, необходимо отметить, что создание цифровых двойников для систем очистки и улавливания углекислого газа (CO₂) в Unity открывает широкие перспективы для повышения эффективности промышленных процессов и улучшения экологической ситуации. С помощью цифровых моделей, подкреплённых физическими и химическими расчётами, возможно более точно симулировать сложные процессы, происходящие в установках для очистки газов, оценивать их производительность и определять возможности для оптимизации.

Применение цифровых двойников в области экологического инжиниринга и промышленных технологий имеет значительный потенциал для дальнейшего развития. Они позволяют исследовать и тестировать новые подходы к улавливанию CO₂ и другим процессам очистки, что способствует сокращению выбросов и поддержанию экологического баланса. В условиях глобальных усилий по снижению воздействия на окружающую среду, такие технологии должны стать неотъемлемой частью устойчивого развития промышленности и общества в целом.

В перспективе, дальнейшие исследования могут сосредоточиться на оценке энергозатрат и экономической эффективности, применении VR/AR для обучения и анализа, а также на интеграции с IoT для мониторинга состояния системы в реальном времени. Эти направления позволят повысить точность и полезность цифровых двойников для промышленного применения.

Литература

Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: применение эмуляции для восстановления машин // *Procedia CIRP*. 2018. V. 82. P. 243-248. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.139

Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Кастомизация системы управления складом и доступность информации в 3pl-компаниях: инструмент поддержки принятия решений // *Industrial Management & Data Systems*. 2019. V. 119. N 2. P. 251-273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033

В.Кh. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сас, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова Предварительная очистка выбросов тепловых устройств в технологии декарбонизации // Доклады национальной академии наук республики Казахстан. Том 1. Номер 349 (2024). С. 271-282. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.272>

Laengle S., Modak N.M., Merigó J.M., De La Sotta C. Thirty years of the international journal of computer integrated manufacturing: a bibliometric analysis // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. V. 31. N 12. P. 1247–1268. doi:10.1080/0951192X.2018.1529434

Радхакисан Б., Гилл Х. Киберфизические системы // Влияние технологий управления. 2011. P. 161-166.

Розен Р., Вихерт Г., Ло Г., Беттенхаузен К. Д. О важности автономии и цифровых двойников для будущего производства // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. V. 48. N 3. P. 567-572. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141

Абрамовичи М., Гёбель Ж.К., Саварино П. Реконфигурация умных продуктов на этапе их использования на основе виртуальных двойников продукта // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2017. V. 66. N 1. P. 165-168. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.042

Молдагазыева Ж.Ю., Жакан А., Аргынбай А. Международный научный журнал «Символ науки» // Воздействие тепловых электростанций на окружающую среду. Том 4. (2021). С. 190-194.

References

- Radhakisan B., Gill H. Cyber-physical systems // *The Impact of Control Technology*. 2011. P. 161–166.
- Rosen R., Wichert G., Lo G., Bettenhausen K.D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing // *IFAC-PapersOnLine*. 2015. V. 48. N 3. P. 567–572. doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141
- Laengle S., Modak N.M., Merigó J.M., De La Sotta C. Thirty years of the international journal of computer integrated manufacturing: a bibliometric analysis // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2018. V. 31. N 12. P. 1247–1268. doi:10.1080/0951192X.2018.1529434
- Abramovici M., Göbel J.C., Savarino P. Reconfiguration of smart products during their use phase based on virtual product twins // *CIRP Annals-Manufacturing Technology*. 2017. V. 66. N 1. P. 165–168. doi: 10.1016/j.cirp.2017.04.042
- Ayani M., Ganebäck M., Ng A.H.C. Digital Twin: applying emulation for machine reconditioning // *Procedia CIRP*. 2018. V. 82. P. 243–248. doi: 10.1016/j.procir.2018.03.139
- Baruffaldi G., Accorsi R., Manzini R. Warehouse management system customization and information availability in 3pl companies: a decision-support tool // *Industrial Management & Data Systems*. 2019. V. 119. N 2. P. 251–273. doi: 10.1108/IMDS-01-2018-0033
- Moldagazyeva J.Y., Zhakan A., Argynbai A., *International Scientific Journal 'symbol of science'* // *Environmental impact of thermal power plants* // Volume 4. (2021) P. 190 - 194.
- B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.R. Rakhmetova Preliminary treatment of thermal devices' emissions in decarbonization technology // *Reports of the national academy of sciences of the republic of Kazakhstan* // Volume 1. Number 349 (2024), 271–282 // <https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.272>

CONTENTS

PHYSICS

- A. Bekeshev, A. Mostovoy, M. Akhmetova, L. Tastanova**
RESEARCH ON THE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS
INCORPORATING MODIFIED MINERAL FILLERS.....5
- G. Yensebaeva, I. Makhambayeva, A.Seitmuratov, K. Kanibaikyzy,
Z. Suleimenova**
PROBLEMS ON THE PROPAGATION OF HARMONIC WAVES UNDER
RHEOLOGICAL VISCOUS PROPERTIES OF A MATERIAL.....16
- A.A. Zhadyranova, V. Zhumabekova, U. Ismail, D. Nassirova**
EXPLORING THE POTENTIAL OF YUKAWA USING THE FIZO EFFECT.....33
- A. Istlyaup, L. Myasnikova, A. Lushchik**
COMPUTER SIMULATION OF THE DENSITY OF STATE NaX (X = F, Cl)
NANOOBJECTS.....49
- G.T. Omarova, Zh.T. Omarova**
TO THE ORBITAL DYNAMICS WITH VARIABLE ECCENTRICITY.....61
- A.V. Serebryanskiy, Ch.T. Omarov, G.K. Aimanova, M.A. Krugov**
SPECTRAL OBSERVATIONS OF GEOSTATIONARY SATELLITES AT THE
ASSY-TURGEN OBSERVATORY IN KAZAKHSTAN.....69
- A.K. Shongalova, A. Sailaubek, A.E. Kemelbekova**
OBTAINING BULK CRYSTALS OF ANTIMONY OXYCHLORIDE AND
STUDYING ITS STRUCTURAL CHARACTERISTICS.....82
- S.A. Shomshekova, L.K. Kondratyeva, I.M. Izmailova, C.T. Omarov**
INFRARED OBSERVATIONS OF SYMBIOTIC STARS FROM A CISLUNAR
ORBIT: OBJECTIVES AND PROSPECTS.....90

CHEMISTRY

- A. Abdullin, ©N. Zhanikulov, B. Taimasov, E. Potapova**
INVESTIGATION OF CHEMICAL RESISTANCE OF ZINC-PHOSPHATE
CEMENT UNDER INFLUENCE OF AGGRESSIVE ENVIRONMENTS.....103
- G. Baisalova, Zh. Tukhmetova, B. Torsykbaeva, A. Shukirbekova, Zh. Ussen**
CHEMICAL CONSTITUENTS OF HEXANE EXTRACT OF LYTHRUM
SALICARIA L. ROOTS.....115

- N. Bolatkyzy, A.B. Amangeldi, B.E. Dyusebaev, G.E. Berganayeva, M.A. Dyusebaeva**
STUDY OF AMINO ACIDS AND FATTY ACIDS IN THE COMPOSITION OF THE AERIAL PART OF RUBUS HYBRID.....125
- A.A. Duisenbay, E.K. Assembayeva, M.O. Kozhakhliyeva, D.E. Nurmukhanbetova, A.Zh. Bozhbanov**
PHYSICOCHEMICAL INDICATORS AND SAFETY OF SOURDOUGH BREAD.....135
- T.K. Jumadilov, G.T. Dyussebayeva, Zh.S. Mukatayeva, J.V. Gražulevicius**
INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL AND CONFORMATIONAL PROPERTIES OF INTERPOLYMER SYSTEMS OF CATIONITE KU-2-8 AND ANIONITE P4VP.....146
- V.N. Kryuchkov, I.V. Volkova, A.V. Mozharova, L.K. Seidaliyeva, F.K. Nurbayeva, K.A. Jumasheva**
MORPHOLOGY OF THE MESONEPHROS IN CARP UNDER EXPERIMENTAL INTOXICATION.....157
- M.K. Kurmanaliev, Zh.D. Alimkulova, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova**
NEW SORBENTS BASED ON TIACROWN ETHERS: PREPARATION AND APPLICATION FOR SILBER EXTRACTION.....168
- M.T. Telmanov, B.Kh. Khussain, A.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy**
CREATION OF DIGITAL TWINS, INCLUDING THE DECARBONISATION MODULE, IN MODELLING AND VISUALISATION OF FLUE GAS CLEANING SYSTEMS IN INDUSTRIAL PLANTS.....179

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова, Л. Тастанова
ТҮРЛЕНДІРІЛГЕН МИНЕРАЛДЫ ТОЛТЫРҒЫШТАР ҚОСЫЛҒАН
ЭПОКСИДТІК КОМПОЗИТТІК МАТЕРИАЛДАРДЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН
ЗЕРТТЕУ.....5

Г. Еңсебаева, И. Махамбаева, А. Сейтмұратов, Қ. Қанибайқызы, Ж. Сүлейменова,
МАТЕРИАЛДЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ НЕГІЗІНДЕ
ГАРМОНИЯЛЫҚ ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУ ЕСЕБІ.....16

А.А. Жадыранова, В. Жумабекова, У. Исмаил, Д. Насирова
ФИЗО ЭФФЕКТИСІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, ЮКАВА ПОТЕНЦИАЛЫН
ЗЕРТТЕУ.....33

А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик
NaX (X = F, Cl) НАНООБЪЕКТІЛЕРІНІҢ КҮЙ ТЫҒЫЗДЫҒЫН
КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ.....49

Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова
АЙНЫМАЛЫ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТІ БАР ОРБИТАЛЫҚ ДИНАМИКАҒА.....61

А.В. Серебрянский, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов
ҚАЗАҚСТАНДА АССЫ-ТҮРГЕН ОБСЕРВАТОРИЯСЫНДА ГЕОТҰРАҚТЫ
СЕРІКТЕРДІҢ СПЕКТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫ.....69

А.Қ. Шонғалова, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова
СУРЬМА ОКСИХЛОРИДІНІҢ КӨЛЕМДІ КРИСТАЛДАРЫН АЛУ ЖӘНЕ
ОНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ.....82

С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров
АЙҒА ЖАҚЫН ОРБИТАДАҒЫ СИМБИОТИКАЛЫҚ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ
ИНФРАҚЫЗЫЛ БАҚЫЛАУЛАРЫ: МІНДЕТТЕРІ МЕН БОЛАШАҒЫ.....90

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова
МЫРҒЫШ-ФОСФАТТЫ ЦЕМЕНТІНІҢ АГРЕССИВТІ ОРТАНЫҢ ӘСЕРІНЕ
ХИМИЯЛЫҚ ТӨЗІМДІЛІГІН ЗЕРТТЕУ.....103

Ғ. Байсалова, Ж. Тухметова, Б. Торсыкбаева, А. Шукирбекова, Ж. Усен
LYTHRUM SALICARIA L. ТАМЫРЛАРЫНЫҢ ГЕКСАНДЫ СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ
ХИМИЯЛЫҚ КОМПОНЕНТТЕРІ.....115

- Н. Болатқызы, А.Б Амангелді, Б.Е Дюсебаев, Г.Е Берганаева,
М.А Дюсебаева**
RUBUS HYBRID ӨСІМДІГІНІҢ ЖЕР ҮСТІ БӨЛІГІНІҢ ҚҰРАМЫНАН АМИН
ЖӘНЕ МАЙ ҚЫШҚЫЛДАРЫН ЗЕРТТЕУ.....125
- А.А. Дуйсенбай, Э.К. Асембаева, М.О. Кожახиева, Д.Е. Нурмуханбетова,
А.Ж. Божбанов**
ҰЙЫТҚЫ ҚОСЫЛҒАН НАННЫҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ КӨРСЕТКІШТЕРІ
МЕН ҚАУІПСІЗДІГІ.....135
- Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс**
КАТИОНИТ КУ-2-8 ЖӘНЕ АНИОНИТ П4ВП ИНТЕРПОЛИМЕРЛІК
ЖҮЙЕЛЕРІНІҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ КОНФОРМАЦИЯЛЫҚ
ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....146
- В.Н. Крючков, И.В. Волкова, А.В. Можарова, Л.К. Сейдалиева,
Ф.К. Нурбаева, К.А. Джумашева**
ЭКСПЕРИМЕНТТІК ИНТОКСИКАЦИЯ КЕЗІНДЕГІ ТҰҚЫ
МЕЗОНЕФРОСЫНЫҢ МОРФОЛОГИЯСЫ.....157
- М.Қ. Құрманалиев, Ж.Д. Алимқұлова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Әбілқасова,**
ТИАКРАУН-ЭФИРЛЕР НЕГІЗІНДЕГІ ЖАҢА СОРБЕНТТЕР: АЛУ ЖӘНЕ
КҮМІСТІ БӨЛУ ҮШІН ҚОЛДАНУ.....168
- М.Т. Тельманов, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский**
ЦИФРЛЫҚ ЕГІЗДЕРДІ ҚҰРУ, ДЕКАРБОНИЗАЦИЯ МОДУЛІМЕН БІРГЕ
ӨНЕРКӘСІПТІК КӘСІПОРЫНДАРДЫҢ ТҮТІН ГАЗДАРЫН ТАЗАРТУ
ЖҮЙЕЛЕРІН МОДЕЛЬДЕУ ЖӘНЕ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ.....179

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

А. Бекешев, А. Мостовой, М. Ахметова, Л. Тастанова
ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ МИНЕРАЛЬНЫМИ
НАПОЛНИТЕЛЯМИ.....5

**Г. Енсебаева, И. Махамбаева, А. Сейтмуратов, К. Канибайкызы,
Ж. Сулейменова**
ЗАДАЧИ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ГАРМОНИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИ
РЕОЛОГИЧЕСКИХ ВЯЗКИХ СВОЙСТВАХ МАТЕРИАЛА.....16

А.А. Жадыранова, В. Жумабекова, У. Исмаил, Д. Насирова
ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛА ЮКАВЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА
ФИЗО.....33

А. Истляуп, Л. Мясникова, А. Лущик
КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОТНОСТИ СОСТОЯНИЯ
НАНООБЪЕКТОВ NaX (X = F, Cl).....49

Г.Т. Омарова, Ж.Т. Омарова
К ОРБИТАЛЬНОЙ ДИНАМИКЕ С ПЕРЕМЕННЫМ
ЭКЦЕНТРИСИТЕТОМ.....61

А.В. Серебрянский, Ч.Т. Омаров, Г.К. Айманова, М.А. Кругов
СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ГЕОСТАЦИОНАРНЫХ СПУТНИКОВ НА
ОБСЕРВАТОРИИ АССЫ-ТУРГЕНЬ В КАЗАХСТАНЕ.....69

С.А. Шомшекова, Л.Н. Кондратьева, И.М. Измайлова, Ч.Т. Омаров
ИНФРАКРАСНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД
С ОКОЛОЛУННОЙ ОРБИТЫ: ЗАДАЧИ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....82

А.К. Шонгалова, А. Сайлаубек, А.Е. Кемелбекова
ПОЛУЧЕНИЕ ОБЪЕМНЫХ КРИСТАЛЛОВ ОКСИХОЛОРИДА СУРЬМЫ И
ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО СТРУКТУРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК.....90

ХИМИЯ

А. Абдуллин, Н. Жаникулов, Б. Таймасов, Е. Потапова
ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ЦИНК-ФОСФАТНОГО
ЦЕМЕНТА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНЫХ СРЕД.....103

- Г. Байсалова, Ж. Тухметова, Б. Торсыкбаева, А. Шукирбекова, Ж. Усен**
ХИМИЧЕСКИЕ КОМПОНЕНТЫ ГЕКСАНОВОГО ЭКСТРАКТА КОРНЕЙ
LYTHRUM SALICARIA L.....115
- Н. Болаткызы, А.Б Амангелди, Б.Е. Дюсебаев, Г.Е Берганаева,
М.А Дюсебаева**
ИССЛЕДОВАНИЕ АМИНОКИСЛОТ И ЖИРНЫХ КИСЛОТ В
СОСТАВЕ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ *RUBUS HYBRID*.....125
- А.А. Дуйсенбай, Э.К. Асембаева, М.О. Кожахиева, Д.Е. Нурмуханбетова,
А.Ж. Божбанов**
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И БЕЗОПАСНОСТЬ ХЛЕБА
С ЗАКВАСКОЙ.....135
- Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс**
ИЗУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И КОНФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
ИНТЕРПОЛИМЕРНЫХ СИСТЕМ КАТИОНИТА КУ-2-8 И АНИОНИТА
П4ВП.....146
- В.Н. Крючков, И.В. Волкова, А.В. Можарова, Л.К. Сейдалиева,
Ф.К. Нурбаева, К.А. Джумашева**
МОРФОЛОГИЯ МЕЗОНЕФРОСА КАРПА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ
ИНТОКСИКАЦИИ.....157
- М.К. Курманалиев, Ж.Д. Алимкулова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова**
НОВЫЕ СОРБЕНТЫ НА ОСНОВЕ ТИАКРАУН-ЭФИРОВ: ПОЛУЧЕНИЕ И
ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СЕРЕБРА.....168
- М.Т. Телманов, Б.Х. Хусаин, А.Х. Хусаин, А.Р. Бродский**
СОЗДАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ, ВКЛЮЧАЯ МОДУЛЬ
ДЕКАРБОНИЗАЦИИ, ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ
ОЧИСТКИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ПРЕДПРИЯТИЙ.....179

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

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

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

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

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

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

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

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

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

www.nauka-nanrk.kz

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Директор отдела издания научных журналов НАН РК *А. Ботанқызы*

Редакторы: *Д.С. Аленов, Ж.Ш. Әден*

Верстка на компьютере *Г.Д. Жадырановой*

Подписано в печать 13.12.2024.

Формат 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

12,5 п.л. Тираж 300. Заказ 4.