

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

2024 • 1



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ  
**HALYK**  
CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ  
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

# БАЯНДАМАЛАРЫ

## ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ  
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»  
ЧФ «ХАЛЫҚ»

## REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN  
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



## ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,  
Благотворительный Фонд «Халык»!**

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 Тілекқабил 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, Корей 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 онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

**ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович**, 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 Хамдар университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

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

**КАЛАНДРА Пьетро**, PhD (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

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

**КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы**, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

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

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

**ЖУСНОВ 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 № КЗ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

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

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

**ЛЮКШИН 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, акушерства 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

**ЦЕЛЕТКИН Игорь Александрович**, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

**КАЛАНДРА Пьетро**, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных 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 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 Hemando**, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

**ЖУСУПОВ 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 Нургали Жаббаевич**, 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, Казахстано-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 Rakhmetkazhi 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>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC  
OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 1. Number 349 (2024), 63–78

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.257>

UDC 539.3

© **A. Marasulov<sup>1\*</sup>, I.I. Safarov<sup>2</sup>, M.Kh. Teshaev<sup>3,4,5</sup>, A.S. Tolep<sup>1</sup>, G.A. Abdraimova<sup>6</sup>, 2024**

<sup>1</sup>Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University,  
Turkestan, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Tashkent Institute of Chemical Technology, Tashkent, Uzbekistan;

<sup>3</sup>Bukhara engineering-technological institute, Bukhara, Uzbekistan;

<sup>4</sup>Bukhara Branch of Mathematics Institute named after V.I. Romanovskiy of AS  
RUz., Bukhara, Uzbekistan;

<sup>5</sup>Asian International University, Bukhara, Uzbekistan;

<sup>6</sup>Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev,  
Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz](mailto:abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz)

## PROPAGATION OF NON-STATIONARY WAVES IN A LAYERED VISCOELASTIC CYLINDER

**Marasulov A.** — Doctor of Technical Sciences, Faculty of Engineering. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, 161200

E-mail: [abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz](mailto:abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz). <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

**Safarov I.I.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Faculty of Management. Tashkent Institute of Chemical Technology. Tashkent, Uzbekistan. 100011

E-mail: [safarov54@mail.ru](mailto:safarov54@mail.ru). <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

**Teshaev M.Kh.** — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Faculty of Cotton Technology. Bukhara engineering-technological institute. Bukhara, Uzbekistan, 200117; Chief Scientific Officer, Bukhara Branch of Mathematics Institute named after V.I. Romanovskiy of AS RUz. Bukhara, Uzbekistan, 105017; Faculty of Humanities and Technology, Asian International University. Bukhara, Uzbekistan, 105017

E-mail: [muhsin\\_5@mail.ru](mailto:muhsin_5@mail.ru). <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

**Tolep A.S.** — Candidate of Technical Sciences, Faculty of Engineering. Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan, 161200

E-mail: [abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz](mailto:abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz). <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>;

**Abdraimova G.A.** — Candidate of Technical Sciences, Institute of Energy and Mechanical Engineering. Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev. Almaty, Kazakhstan, 050060

E-mail: [gulnara409@mail.ru](mailto:gulnara409@mail.ru). <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>.

**Abstract.** Studies of stationary (or steady-state) oscillations and wave propagation in deformable waveguides are of considerable interest in many fields of science and technology. The aim of the work is to study the problems of wave propagation in a viscoelastic two-layer cylinder, as well as the development of

effective methods for solving problems of the propagation of non-stationary waves in a layered viscoelastic cylinder for various relaxation kernels. It is assumed that there are no mass forces, and hard contact conditions are set at the boundaries of homogeneous layers. The problem is formulated and solved in a cylindrical coordinate system. The normal load or radial displacement is set at the boundaries. The materials of the layers are elastic or viscoelastic. On the contact surfaces between the layers, the conditions of continuity of displacement and stress vectors are accepted. The Laplace time transformation is used to solve the problem. The solution is constructed using the integral Laplace transform in time with subsequent reversal. A spectral boundary value problem is obtained for a system of ordinary differential equations and partial differential equations with complex coefficients, which reduces to a system of ordinary differential equations with complex coefficients. The semi-discretized problem is solved by Godunov's direct and orthogonal sweep method in combination with the Muller and Gauss methods. The dispersion curves of the first two vibration modes in an infinite viscoelastic cylinder are obtained. In the case of a cylinder with a radial crack, the first mode has a boundary frequency, and the phase velocity tends to infinity. For large wave numbers, the limiting phase velocity of this mode also coincides with the Rayleigh wave velocity. An example of numerical implementation is given.

**Keywords:** non-stationary waves, infinite cylinder, viscoelastic body, non-axisymmetric loading, contour integrals, Laplace transform

© А. Марасулов<sup>1\*</sup>, И.И. Сафаров<sup>2</sup>, М.Х. Тешаев<sup>3,4,5</sup>, Ә.С. Төлеп<sup>1</sup>,  
Г.А. Абдраимова<sup>6</sup>, 2024

<sup>1</sup>Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті,  
Түркістан, Қазақстан;

<sup>2</sup>Ташкент химиялық-технологиялық институты, Ташкент, Өзбекстан;

<sup>3</sup>Бұхара инженерлік-технологиялық институты, Бұхара, Өзбекстан;

<sup>4</sup>В.И. Романовский атындағы Математика институтының Бұхара бөлімшесі,  
Бұхара, Өзбекстан;

<sup>5</sup>«Азия» Халықаралық университеті, Бұхара, Өзбекстан;

<sup>6</sup>Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz, gulnara409@mail.ru.

## ҚАБАТТЫ ТҮТҚЫР СЕРПІМДІ ЦИЛИНДРДЕ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ

**Марасулов А.** — техника ғылымдарының докторы, Инженерия факультеті. Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті. Түркістан, Қазақстан. 161200  
E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

**Сафаров И.И.** — физика-математика ғылымдарының докторы, Менеджмент факультеті. Ташкент химиялық-технологиялық институты. Ташкент, Өзбекстан, 100011  
E-mail: safarov54@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

**Тешаев М.Х.** — физика-математика ғылымдарының докторы, Мақта технологиясы факультеті.

Бұхара инженерлік-технологиялық институты. Бұхара, Өзбекстан, 200117; бас ғылыми қызметкер, В. И. Романовский атындағы Математика институтының Бұхара бөлімшесі. Бұхара, Өзбекстан. 105017; Гуманитарлық ғылымдар және техника факультеті, «Азия» Халықаралық университеті. Бұхара, Өзбекстан. 105017

E-mail: muhsin\_5@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

**Төлеп Ә.С.** — техника ғылымдарының кандидаты, Инженерия факультеті. Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті. Түркістан, Қазақстан. 161200

E-mail: abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>;

**Абдраимова Г.А.** — техника ғылымдарының кандидаты, Энергетика және машина жасау институты. Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан. 050060

E-mail: gulnara409@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>.

**Аннотация.** Деформацияланатын толқын өткізгіштердегі стационарлық (немесе тұрақты) тербелістер мен толқындардың таралуын зерттеу ғылым мен техниканың көптеген салаларында үлкен қызығушылық тудырады. Жұмыстың мақсаты – тұтқыр серпімді екі қабатты цилиндрдегі толқындардың таралу мәселелерін зерттеу, сонымен қатар әртүрлі релаксация ядролары үшін қабатты тұтқыр серпімді цилиндрде стационарлық емес толқындардың таралу мәселелерін шешудің тиімді әдістерін жасау. Массалық күштер жоқ деп болжанады, ал біртекті қабаттардың шекараларында қатаң жанасу шарттары қойылады. Есеп цилиндрлік координаттар жүйесінде қойылады және шешіледі. Шекараларда қалыпты жүктеме немесе радиалды орын ауыстыру берілген. Қабаттардың материалдары серпімді немесе тұтқыр серпімді. Қабаттар арасындағы жанасу беттерінде орын ауыстыру және кернеу векторлары үшін үздіксіздік шарттары қабылданған. Есепті шешу үшін уақыт бойынша Лаплас түрлендіруі қолданылады. Шешім кейінгі айналыммен уақыт бойынша интегралды Лаплас түрлендіруі арқылы алынады. Комплекс коэффициенттері бар қарапайым дифференциалдық теңдеулер жүйесіне келтірілген қарапайым дифференциалдық теңдеулер және дербес туындылы дифференциалдық теңдеулер жүйесі үшін спектрлік шекаралық есеп алынады. Жартылай дискреттелген есеп Годуновтың тура және ортогональды кума әдісін Мюллер және Гаусс әдістерімен үйлестіре отырып шешіледі. Шексіз тұтқыр серпімді цилиндрдегі алғашқы екі тербеліс модасының дисперсиялық қисықтары алынады. Радиалды жарықшақты цилиндр жағдайында бірінші мода шекаралық жиілікке ие, ал фазалық жылдамдық шексіздікке ұмтылады. Үлкен толқын сандары жағдайында бұл моданың шекті фазалық жылдамдығы Рэлей толқынының жылдамдығына сәйкес келеді. Сандық нәтижелердің мысалы келтірілген.

**Түйін сөздер:** стационарлық емес толқындар, шексіз цилиндр, тұтқыр серпімді дене, осимметриялық емес жүктеме, контурлық интегралдар, Лаплас түрлендіруі

© А. Марасулов<sup>1\*</sup>, И.И. Сафаров<sup>2</sup>, М.Х. Тешаев<sup>3,4,5</sup>, А.С. Тулеп<sup>1</sup>,  
Г.А. Абдраимова<sup>6</sup>, 2024

<sup>1</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан;

<sup>2</sup>Ташкентский химико-технологический институт, Ташкент, Узбекистан;

<sup>3</sup>Бухарский инженерно-технологический институт, Бухара, Узбекистан;

<sup>4</sup>Бухарское отделение Института математики им. В.И. Романовского, Бухара, Узбекистан;

<sup>5</sup>Международный университет «Азия», Бухара, Узбекистан;

<sup>6</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН В СЛОИСТОМ ВЯЗКОУПРУГОМ ЦИЛИНДРЕ

**Марасулов А.** — доктор технических наук, факультет Инженерии. Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави. Туркестан. Казахстан. 161200

E-mail: abdurakhim.marassulov@ayu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0001-7127-3987>;

**Сафаров И.И.** — доктор физико-математических наук, факультет Менеджмента. Ташкентский химико-технологический институт. Ташкент. Узбекистан, 100011

E-mail: safarov54@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-0983-8451>;

**Тешаев М.Х.** — доктор физико-математических наук, факультет Технологии хлопка. Бухарский инженерно-технологический институт. Бухара. Узбекистан. 200117; главный научный сотрудник, Бухарское отделение института Математики им. В.И. Романовского. Бухара. Узбекистан. 105017; факультет Гуманитарных наук и техники, Международный университет «Азия». Бухара. Узбекистан. 105017

E-mail: muhsin\_5@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0003-1893-7902>;

**Тулеп А.С.** — кандидат технических наук, факультет Инженерии. Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави. Туркестан. Казахстан. 161200

E-mail: abdimuhan.tolep@ayu.edu.kz. <https://orcid.org/0000-0002-0089-2446>;

**Абдраимова Г.А.** — кандидат технических наук, Институт энергетики и машиностроения. Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева. Алматы. Казахстан. 050060

E-mail: gulnara409@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-7495-358X>.

**Аннотация.** Исследования стационарных (или установившихся) колебаний и распространения волн в деформируемых волноводах представляют значительный интерес во многих областях науки и техники. Целью работы является исследование задач о распространении волн в вязкоупругом двухслойной цилиндре, а также разработка эффективных методов решения задач о распространении нестационарных волн в слоистом вязкоупругом цилиндре для различных ядер релаксации. Предполагается, что массовые силы отсутствуют, а на границах однородных слоев ставятся условия жесткого контакта. Задача поставлена и решается в цилиндрической системе координат. На границах заданы нормальная нагрузка или радиальное перемещение.

Материалы слоев упругие или вязкоупругие. На контактных поверхностях между слоями приняты условия непрерывности векторов перемещений и напряжений. Для решения задачи используется преобразование Лапласа по времени. Решение строится с помощью интегрального преобразования Лапласа по времени с последующим обращением. Получена спектральная краевая задача для системы обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных с комплексными коэффициентами, которая сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с комплексными коэффициентами. Полудискретизированная задача решается методом прямых и ортогональной прогонки Годунова в сочетании с методами Мюллера и Гаусса. Получены дисперсионные кривые первых двух мод колебаний в бесконечном вязкоупругом цилиндре. В случае цилиндра с радиальной трещиной первая мода имеет граничную частоту, а фазовая скорость стремится к бесконечности. При больших волновых числах предельная фазовая скорость этой моды также совпадает со скоростью волны Рэлея. Приведен пример численной реализации.

**Ключевые слова:** нестационарные волны, бесконечный цилиндр, вязкоупругое тело, не осесимметричное нагружение, контурные интегралы, преобразование Лапласа

### **Введение**

Развитие ряда направлений промышленности положительно влияет на требования, предъявляемые к свойствам конструкционных материалов. В ряде случаев использование конструкций из кусочно-однородного или неоднородного строения, а именно, многослойных конструкций является оправданным. Изменяя реологические, а также физико-механические свойства материалов слоев, можно достичь существенного развития свойств конструкций. Это видно при нестационарных динамических воздействиях. Использование упругих и вязкоупругих слоев (диссипативно-неоднородная система) укрепляет прочностные свойства конструкций. Таким образом, исследования таких систем (конструкций) является актуальной задачей для оценки надежности и долговечности таких конструкций.

Исследование нестационарных волновых процессов в оболочках из линейно-вязкоупругого материала является весьма актуальным. Вместе с тем известные на сегодня результаты (часть которых содержится, например, в работах (Петрашень и др., 1982; Жигалько и др., 1975) не являются исчерпывающими. По-прежнему остается актуальным вопрос о том, как на переходные волновые процессы в оболочках влияет принадлежность вязкоупругих ядер тому или иному классу функций и какие параметры ядер проявляются при этом наиболее ярко. В работе (Петрашень и др., 1985) в качестве гипотезы были предложены (а затем нашли подтверждение в определенном диапазоне изменения исходных данных (Ardazishvili, 2014) соотношения, устанавливающие соответствие между ядрами релаксации,

принадлежащими разным классам функций, но влияющими на переходные волновые процессы схожим образом. Однако, эти соотношения предлагались для случая конечной области распространения возмущений при классической постановке нестационарной динамической задачи линейной вязкоупругости, а не теории оболочек. Наряду с этим, в статье (Destrade, 2004) была разработана эффективная методика динамических расчетов переходных волновых процессов в упругих цилиндрических оболочках на основе применения интегрального преобразования Лапласа с последующим вычислением оригиналов. Настоящая работа представляет собой естественное продолжение исследований, начатых в (Dowaikh, 1990; Fu, 2003).

В вышеприведенных работах, в основном, исследованы линейно-упругие среды. Достаточное количество исследований посвящено задачам распространения нестационарных волн в неоднородных или кусочно-однородных упругих средах, а исследования вязкоупругих сред – в работах (Ma и др., 2015; Zhang и др., 2013). Исследования воздействия нестационарных волн в вязкоупругих кусочно-однородных средах изучены в работах (Safarov и др., 2021). При описании нестационарных волновых процессов в слоистых средах, несмотря на значительные успехи (Wang и др., 2013; Sarrami-Foroushani и др., 2014), ряд вопросов остается открытым. Аналитические решения задач двумерной динамики многослойных линейно-упругих тел с не плоскопараллельными границами раздела слоев строятся в виде контурных интегралов (Anjomshoa и др., 2014). Исходя из этого актуальным является получение решения простой формы, удобной для реализации ее на ЭВМ (Pradhan и др., 2009; Hosseini Hashemi и др., 2016). Среди множества подходов к решению линейно-вязкоупругих динамических задач наиболее распространенным является метод интегрального преобразования Лапласа, используемый отдельно или в сочетании с другими методами. Из-за сложности инверсии решения из области Лапласа во временную область часто выполняется асимптотически или с существенными ограничениями на свойства материала. Ранее первый автор этой работы установил общие свойства решения нестационарных динамических задач вязкоупругости для кусочно-однородных тел в области Лапласа (Teshaei и др., 2019). При определенных условиях, накладываемых на исходные данные, на основании результатов (Teshaei и др., 2019) можно свести построение решения нестационарной динамической задачи нахождения собственных значений задачи о свободных колебаниях кусочно-однородного вязкоупругого тела под рассмотрение. Цель данной работы – продемонстрировать такой подход к построению решений нестационарных динамических задач линейной вязкоупругости для кусочно-однородных тел на конкретном примере трехслойной полости цилиндр. Здесь же мы предлагаем метод нахождения элементов множества полюса решения на изображениях вблизи предельных точек этого множества.

### **Методы**

#### *Постановка задачи и методика решения*

Рассмотрим  $N$ -слойный цилиндр с радиусами слоев  $a_n$ ,  $0 < a_1 < a_2 < \dots < a_N$  со скоростями распространения продольных и поперечных волн  $c_n^{(1)}, c_n^{(2)}$ . Пусть в декартовых координатах (Охуз) слой имеет следующую область:  $x \in (-\infty, +\infty)$ ,  $y \in [0, a_N]$ ,  $z \in [0, a_N]$ . Рассмотрим краевую задачу динамических процессов в цилиндрической оболочке, сделанного из вязкоупругого материала в рамках гипотез Тимошенко. Тогда уравнения динамики оболочки принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_x}{\partial x} &= \rho h \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{1}{R} N_y &= \rho h \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial M_x}{\partial x} - Q_x &= (\rho h^3 / 12) \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \end{aligned}$$

где  $N_x(x, t)$  и  $N_y(x, t)$  – нормальные усилия в срединной поверхности оболочки,  $M_x(x, t)$  – изгибающий момент.

Предположим, что в этом теле под воздействием нестационарных нагрузок распространяется волна. Распространение нестационарных волн в многослойном теле представлено уравнениями Ламе в перемещениях

$$\tilde{\mu}_\kappa \nabla^2 \vec{u} + (\tilde{\lambda}_\kappa + \tilde{\mu}_\kappa) \text{grad div } \vec{u} = \rho_\kappa \frac{\partial^2 \vec{u}}{\partial t^2}, \quad (\kappa = 1, 2, 3 \dots N), \quad (1)$$

где  $\vec{u}(u_1, u_2, u_3)$  – вектор перемещений среды,  $\rho_\kappa$  – плотность  $k$ -го слоя,

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda}_\kappa f(t) &= \lambda_{0\kappa} \left[ f(t) - \int_0^t R_{\lambda\kappa}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right]; \quad \tilde{\mu}_\kappa f(t) = \\ &= \mu_{0\kappa} \left[ f(t) - \int_0^t R_{\mu\kappa}(t-\tau) f(\tau) d\tau \right], \end{aligned} \quad (2)$$

$f(t)$  – произвольная функция времени,  $R_{\lambda\kappa}(t-\tau)$  и  $R_{\mu\kappa}(t-\tau)$  – ядра релаксации,  $\lambda_{0\kappa}, \mu_{0\kappa}$  – мгновенные модули упругости. При расчетах использовалось ядро Колтунова-Ржаницына:  $R_\kappa(t) = A_\kappa e^{-\beta_\kappa t} / t^{1-\alpha_\kappa}$ . Между слоями ставится условие жесткого контакта (Nazemnezhad и др., 2014):

$$\begin{aligned} \sigma_{nn}^{(1)} &= \sigma_{nn}^{(2)}, \quad \sigma_{ns_1}^{(1)} = \sigma_{ns_1}^{(2)}, \quad \sigma_{ns_2}^{(1)} = \sigma_{ns_2}^{(2)}, \\ u_n^{(1)} &= u_m^{(2)}, \quad u_{s_1}^{(1)} = u_{s_1}^{(2)}, \quad u_{s_2}^{(1)} = u_{s_2}^{(2)}. \end{aligned} \quad (3)$$

На свободной поверхности слоя ставится условие свободы от напряжений:

$$\sigma_{nn}^{(1)} = 0; \quad \sigma_{ns_1}^{(1)} = 0; \quad \sigma_{ns_2}^{(1)} = 0.$$

Для уравнений движения (1) выполняются следующая подстановка:

$$\vec{u}_\kappa = \text{grad } \phi_\kappa + \text{rot } \vec{\psi}_\kappa, \quad \text{div } \vec{\psi}_\kappa = \mathbf{0}. \quad (4)$$

Здесь  $\phi_\kappa$  – продольный волновой потенциал;  $\vec{\psi}_\kappa (\psi_{x\kappa}, \psi_{y\kappa}, \psi_{z\kappa})$  – поперечный волновой потенциал. Если подставить (4) в (1), тогда:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \phi_k - \int_0^t R_{kp}(t-\tau) \nabla^2 \phi_k(\tau) d\tau - \frac{1}{c_{pk}^2} \cdot \frac{\partial^2 \phi_k}{\partial t^2} &= 0, \\ \nabla^2 \psi_{zk} - \int_0^t R_{ks}(t-\tau) \nabla^2 \psi_{zk}(\tau) d\tau - \frac{1}{c_{sk}^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi_{zk}}{\partial t^2} &= 0, \\ \nabla^2 \psi_{\theta k} - \frac{\psi_{\theta k}}{r^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial \psi_{rk}}{\partial \theta} - \int_0^t R_{\psi ks}(t-\tau) \nabla^2 \bar{\psi}_{1k}(\tau) d\tau - \frac{1}{c_{sk}^2} \frac{\partial^2 \psi_{\theta k}}{\partial t^2} &= 0, \\ \nabla^2 \psi_{rk} - \frac{\psi_{rk}}{r^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial \psi_{\theta k}}{\partial \theta} - \int_0^t R_{\psi kcs}(t-\tau) \nabla^2 \bar{\psi}_{2k}(\tau) d\tau - \frac{1}{c_{sk}^2} \frac{\partial^2 \psi_{rk}}{\partial t^2} &= 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь  $c_{pk}^2 = (\lambda_{0k} + 2\mu_{0k}) / \rho_k$ ,  $c_s^2 = \mu_{0k} / \rho_k$  соответственно мгновение скорости распространения продольных и поперечных волн в упругом теле. В качестве примера рассмотрим задачу многослойного цилиндра в плоском деформируемом состоянии. К внешней поверхности  $R = a_N$  которого в момент  $t = 0$  приложены нормальная  $P_1(v, t)$  и тангенциальная  $P_2(v, t)$  нагрузки, постоянные вдоль образующей ( $R, v$  – полярные координаты,  $-\pi < v < \pi, n$  – номер слоя). Пусть

$$P_j(v, t) = 2G_n P_0 f(\tau) \theta_j v, \quad j = 1, 2; \quad \tau = tc_N^{(1)} / a_N.$$

Введем

$$r = R / a_N, \quad u_j^{(n)}(r, v, t) = w_j^{(n)}(R, v, t) / a_N,$$

$$\sigma_{jj}^{(n)}(r, v, \tau) = S_{jj}^{(n)}(R, v, t) / 2G_n, \quad \alpha_{jn} = c_N^{(1)} / c_n^{(f)}, \quad j, j' = 1, 2,$$

где  $w_1^{(n)}, w_2^{(n)}$  – радиальные и угловые перемещения,  $S_{11}^{(n)}, S_{22}^{(n)}, S_{11}^{(n)}$  – соответствующие физические компоненты тензора напряжений. Будем искать решение уравнений в потенциалах перемещений (4) и (5)

$$\begin{aligned} \Delta \varphi_j^{(n)}(r, v, \tau) - \alpha_{jn}^2 \frac{\partial^2 \varphi_j^{(n)}(r, v, \tau)}{\partial \tau^2} &= 0, \quad j = 1, 2, \quad n = 1, 2, \dots, N, \\ u_1^{(n)} &= \frac{\partial \varphi_1^{(n)}}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_2^{(n)}}{\partial v}, \quad u_2^{(n)} = \frac{1}{r} \frac{\partial \varphi_1^{(n)}}{\partial v} - \frac{\partial \varphi_2^{(n)}}{\partial r} \end{aligned} \quad (6)$$

при нулевых условиях для  $\varphi_j^{(n)}$  и условиях ( $v = 1, 2, \dots, N - 1, j = 1, 2$ )

$$\sigma_{1f}^{(N)}(1, v, \tau) = -P_0 f(\tau) \theta_f(v), \quad \tau > 0 \quad (7)$$

$$G_v \sigma_{1f}^{(v)} = G_{v+1} \sigma_{1f}^{(v+1)}, \quad u_j^{(v)} = u_j^{(v+1)} \text{ при } r = r_v = a_v / a_N. \quad (8)$$

Разложив  $\theta_j, u_j^{(n)}, \varphi_f^{(n)}$  в ряды Фурье

$$\theta_j = (-1)^{j-1} \sum_{m=0}^{\infty} H_{mj} e^{imv}, \quad u_j^m = (-1)^{j-1} P_0 \sum_{m=0}^{\infty} v_{mj}^{(n)}(r, \tau) e^{imv},$$

$$\varphi_j^m = (-1)^{j-1} P_0 \sum_{m=0}^{\infty} \psi_{mj}^{(n)}(r, \tau) e^{imv},$$

и применив к (6) – (8) интегральное преобразование Лапласа

$$(\tau \Rightarrow s, f(\tau) \Rightarrow F(s), v_{mj}^{(n)}(r, \tau) \Rightarrow V_{mj}^{(n)}(r, s), \psi_{mj}^{(n)}(r, \tau) \Rightarrow \Psi_{mj}^{(n)}(r, s)),$$

будем иметь

$$\Psi_{mj}^{(n)}(r, s) = A_{mj}^{(n)}(s) I_m(rs\alpha_{jn}) + B_{mj}^{(n)}(s) K_m(rs\alpha_{jn}), \quad m = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $I_m, K_m$  – модифицированные функции Бесселя 1-го и 2-го рода  $m$ -го индекса. Определив  $A_{mj}^{(n)}$  и  $B_{mj}^{(n)}$  из преобразованных условий (7), (8), с учетом  $B_{mj}^{(1)} = 0$ , получим

$$V_{mj}^{(n)}(r, s) = F(s) W_{mj}^{(n)}(r, s) / Z_m(s), \quad (9)$$

где  $W_{mj}^{(n)}$  – аналитическая функция при  $|s| > 0$ ,  $Z_m$  – аналитическая функция на всей комплексной плоскости, обе однозначны и симметричны по  $s$ , хотя и выражаются через  $I_m, K_m$ .

Перейдем к построению оригинала. Выберем  $f(\tau)$  в виде функции Хэвисайда  $h(\tau)$  и будем искать  $V_{mj}^{(n)}$  в классе функций, для которых существует такое  $\lambda > 0$ , что  $v_{mj}^{(n)}(r, \tau) \tau^{-\lambda} \rightarrow 0$ , при  $\tau \rightarrow \infty$ . В силу (9) все полюсы  $V_{mj}^{(n)}$  расположены на мнимой оси, множество их не более чем счётной и не имеет предельной точки, кроме:  $s = \infty$ . Тогда справедливо

Утверждение: При  $f(\tau) = h(\tau)$  для каждого  $m$  существует такая последовательность  $\{L_k^{(m)}\}$  окружностей с радиусами  $R_k^{(m)} \rightarrow \infty$  при  $k \rightarrow \infty$  и центрами в точке  $s=0$ , что для  $s \in L_k^{(m)}$   $|V_{mj}^{(n)}| < \mu^{(m)}$ , где  $\mu^{(m)}$  – константа.

Выберем  $f(\tau) = \tau^2 / 2$  и, пользуясь формулой Меллина и сформулированным утверждением, получим соответствующий оригинал в виде бесконечной суммы вычетов функции  $W_{mj}^{(n)} Z_m^{-1} s^{-3} e^{s\tau}$ , после чего по правилу дифференцирования оригиналов найдем  $v_{mj}^{(n)}$  для  $f(\tau) = h(\tau)$ . Можно показать, что все нули  $Z_m$  однократны, поэтому

$$\begin{aligned} \check{\nu}_{mj}^{(n)} &= Y_{mj}^{(n)}(r) + \delta_m^1 Y_{1j}^{(0)}(r)\tau^2 + \delta_{m+1}^1 Y_{02}^{(0)}(r)\tau^2 + \\ &+ g^{(n)} \sum_{k=1}^{\infty} X_{mj}^{(n)}(r, \omega_k^{(m)}) \cos \omega_k^{(m)} \tau \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} X_{mj}^{(n)}(r, \omega) &= \omega^{N-n-2} \left\{ H_{m1} \left\| \begin{array}{cc} \mathcal{Q}_{j1}^{nm} & \mathcal{Q}_{j2}^{nm} \\ d_{21}^{(m)} & d_{21}^{(m)} \end{array} \right\| + H_{m2} \left\| \begin{array}{cc} d_{11}^{(m)} & d_{12}^{(m)} \\ \mathcal{Q}_{j1}^{nm} & \mathcal{Q}_{j2}^{nm} \end{array} \right\| \right\} \left( \frac{dD^{(m)}}{d\omega} \right)^{-1}, \\ D^{(m)}(\omega) &= \left\| d_{jj}^{(m)} \right\|, \quad d_{jj}^{(m)} = e_{jl}^{(m)} \eta_{ij}^{Nm}, \quad \mathcal{Q}_{jj}^{nm} = q_{jl}^{nm} \eta_{ij}^{nm}, \quad j, j' = 1, 2; \quad l = 1, 2, 3, 4, \\ (\eta_{ij}^{lm}) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \eta_{ij}^{\nu+1m} = h_{ll'}^{\nu m} \eta_{ij}^{\nu m}, \quad l' = 1, 2, 3, 4; \quad \nu = 1, 2, \dots, N-1; \end{aligned}$$

по повторяющимся  $l$  и  $l'$  – суммирование;  $\delta_m^1, \delta_{m+1}^1$  – символы Кронекера,

$\| \|$  – знак детерминанта,  $g^{(N)} = 2, g^{(N)} = 2\pi^{N-n} r_n \alpha_{2n+1}^2 r_{n+1} \alpha_{2n+2}^2 \dots r_{N-1} \alpha_{2N}^2, n < N.$

Элементы  $e_{jl}^{(m)}, q_{jl}^{nm}$  имеют вид  $(x_{jn} = r\omega\alpha_{jn}, \omega' = \alpha_{2N}\omega)$

$$e_{11}^{(m)} = J_m(\omega) \left[ \frac{\alpha_{2N}^2}{2} + \frac{m(1-m)}{\omega^2} \right] - \frac{J_{m+1}(\omega)}{\omega},$$

$$e_{21}^{(m)} = -\frac{m}{\omega^2} [(1-m)J_m(\omega) + \omega J_{m+1}(\omega)],$$

$$e_{13}^{(m)} = \frac{m}{\omega^2} [(1-m)J_m(\omega') + \omega' J_{m+1}(\omega')],$$

$$e_{23}^{(m)} = \frac{\alpha_{2N}^2}{\omega'} J_{m+1}(\omega') - J_m(\omega') \left[ \frac{\alpha_{2N}^2}{2} + \frac{m(1-m)}{\omega^2} \right],$$

$$q_{11}^{nm} = \alpha_{1n} [m x_{1n}^{-1} J_m(x_{1n}) - J_{m+1}(x_{1n})], \quad q_{21}^{nm} = -m \alpha_{1n} x_{1n}^{-1} J_m(x_{1n}),$$

$$q_{13}^{nm} = m \alpha_{2n} m x_{2n}^{-1} J_m(x_{2n}), \quad q_{23}^{nm} = \alpha_{2n} [J_{m+1}(x_{2n}) - m x_{2n}^{-1} J_m(x_{2n})],$$

Элементы  $e_{j2}^{(m)}, e_{j4}^{(m)}, q_{j2}^{nm}, q_{j4}^{nm}$  получаются соответственно из  $e_{j1}^{(m)}, e_{j3}^{(m)}, q_{j1}^{nm}, q_{j3}^{nm}, j = 1, 2,$  заменой функций Бесселя 1-го рода  $J_m, J_{m+1}$  на функции Бесселя 2-го рода  $N_m, N_{m+1}$  с теми же аргументами. Для них имеем

$$h_{11}^m = \gamma_\nu^m \left\{ N_{m+1}(\beta_{1\nu}') [a_{1\nu}^m \beta_{1\nu} J_{m+1}(\beta_{1\nu}) - a_{2\nu}^m \beta_{1\nu} J_m(\beta_{1\nu})] + \right. \\ \left. + (\beta_{1\nu}')^{-1} N_m(\beta_{1\nu}') [a_{3\nu}^m \beta_{1\nu} J_{m+1}(\beta_{1\nu}) - a_{4\nu}^m J_m(\beta_{1\nu})] \right\}, \quad \gamma_\nu^m = \alpha_{1\nu+1}, \quad (11)$$

$h_{12}^{vm}$  получается подстановкой в (11)  $N_m(\beta_{1v}), N_{m+1}(\beta_{1v})$  вместо  $J_m(\beta_{1v}), J_{m+1}(\beta_{1v})$ ,  $h_{21}^{vm}$  – подстановкой в (11)  $-J_m(\beta'_{1v}), -J_{m+1}(\beta'_{1v})$  вместо  $N_m(\beta'_{1v}), N_{m+1}(\beta'_{1v})$ , а обе эти подстановки дадут  $h_{22}^{vm}$ . Остальные элементы получаются из  $h_{1j}^{vm}, h_{2j}^{vm}, j=1,2$ , соответственно:  $h_{1j+2}^{vm}, h_{2j+2}^{vm}$  – заменой  $a_l^{vm}$  на  $b_l^{vm}$  и  $\beta_{1v}$  на  $\beta_{2v}$  при  $\gamma_v^m = ma_{1v+1}$ ;  $h_{3j}^{vm}, h_{4j}^{vm}$  заменой  $a_l^{vm}$  на  $b_l^{vm}$  и  $\beta'_{1v}$  на  $\beta'_{2v}$  при  $\gamma_v^m = ma_{2v+1}$ ;  $h_{3j+2}^{vm}, h_{4j+2}^{vm}$  заменой  $\beta_{1v}$  на  $\beta_{2v}$  и  $\beta'_{1v}$  на  $\beta'_{2v}$  при  $\gamma_v^m = ma_{2v+1}$ .

Здесь

$$\begin{aligned} \beta_{jv} &= r_v a_{1v} \omega, \beta'_{jv} = r_v a_{1v+1} \omega, j=1,2, a_1^{vm} = -b_1^{vm} = G_v / G_{v+1} - 1, \\ b_2^{vm} &= -b_3^{vm} = (m-1)(1 - G_v / G_{v+1}), b_3^{vm} = a_3^{vm} - a_2^{vm}, \\ a_2^{vm} &= mb_2^{vm} + 0,5\beta_{2v}^2 G_v / G_{v+1}, a_3^{vm} = -mb_2^{vm} + 0,5(\beta'_{2v})^2, a_4^{vm} = mb_4^{vm}. \end{aligned}$$

Величины  $\omega_k^{(m)}$  являются однократными положительными корнями уравнения  $D^{(m)}(\omega) = 0$ , определяющего собственные частоты колебаний цилиндра. Функции  $Y_{01}^{(n)}$  и  $Y_{mj}^{(n)}$ ,  $m \geq 2$ , суть решения соответствующих задач статики с граничным условием  $\sigma_{11}^{(N)} = -P_0 H_{01}$  и  $\sigma_{1j}^{(N)} = -P_0 H_{mj}$ ,  $m \geq 2$ , при  $r = 1$ . Функции  $Y_{02}^{(n)} + Y_{02}^{(0)} \tau^2$  и  $Y_{1j}^{(n)} + Y_{1j}^{(0)} \tau^2$  удовлетворяют уравнениям динамики в перемещениях, условиям (3) и граничным условиям  $\sigma_{12}^{(N)} = -P_0 H_{02}$  и  $\sigma_{1j}^{(N)} = -P_0 H_{mj}$  при  $r = 1, \tau \geq 0$ , а  $Y_{02}^{(0)} \tau^2$  и  $Y_{1j}^{(0)} \tau^2$  суть смещения цилиндра как целого при таких нагрузках.

Ряды (10) сходятся равномерно в области  $0 < e \leq r \leq 1, 0 \leq \tau < \infty$ , а остаточный член, соответствующий сумме первых  $K$  слагаемых, есть  $O(1 / K\sqrt{e})$ . Решение для произвольной  $f(\tau)$  легко получить сверткой.

### Результаты и анализ

Отметим, что согласно теории упругости при землетрясениях образуются сейсмические волны: продольная волна и поперечная волна. При прохождении продольной волны частицы перемещаются вперед и назад вдоль направления движения волны. При этом среда испытывает ряд сжатий и растяжений. В этом случае отсутствует вращение частиц. При прохождении поперечной волны частицы грунта перемещаются перпендикулярно к направлению движения. Существуют еще поверхностные волны: волна Лява и волна Релея. Эти волны распространяются медленнее, чем другие волны. Продольные и поперечные волны распространяются по объему и затухают обратно пропорционально кубу расстояния, а волна Лява распространяется вдоль поверхности и затухает обратно пропорционально квадрату расстояния, поэтому, начиная с определенного расстояния до эпицентра.

Приведем результаты численной реализации аналитического решения для полого трехслойного цилиндра ( $N=4$ ) с параметрами:

$$r_1 = 0.75; r_2 = 0.80; r_3 = 0.85; r_4 = 0.9.$$

Верхний и внутренний слои полого трехслойного цилиндра сделаны из стали, характеристики материалов которых приведены ниже. Второй слой сделан из стали.

$$E_{01} = E_{03} = 2 \times 10^5 \text{ Mna}; \quad \nu_1 = \nu_3 = 0.26, \rho_1 = \rho_3 = 7800 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

$$E_{02} = 6.67 \cdot 10^5 \text{ Mna}; \quad \nu_1 = \nu_3 = 0.20, \rho_1 = \rho_3 = 2280 \text{ кг} / \text{м}^3,$$

Параметры ядра релаксации приняты в виде  $R_k(t) = Ae^{-\beta t} / t^{1-\alpha}$ ,  $A_k = 0,048$ ;  $\beta_k = 0,05$ ;  $\alpha_k = 0,10$ . Участок поверхности цилиндра  $|v| \leq \pi / 8$  подвержен кратковременному воздействию радиальной нагрузки, определяемой как  $\theta_1(v) = 0,5(1 + \cos 8v)$  для  $|v| \leq \pi / 8$ ,  $\theta_1(v) \equiv 0$ , для  $\pi / 8 < |v| \leq \pi$  и аппроксимируемой 15 членами ряда Фурье:

$$f(\tau) = \begin{cases} 15\tau, & 0 \leq \tau < 0.04 \\ 1 - 15\tau, & 0.04 \leq \tau < 0.1 \\ 0, & 0.1 \leq \tau, \end{cases}$$

всюду.

Результаты получены для безразмерных параметров.

На рис.1 представлены зависимости безразмерных контурных напряжений в зависимости от времени: 1. при  $r = a_0$ ; 2. при  $r = a_1$ . 3. при  $r = a_2$ . Видно, что для наружного цилиндра контурные напряжения изменяют свой знак колебательным образом.

На рис.2 приведено изменение перемещений при ( $r = a_1$ ) в зависимости от времени: 1. контурные перемещения при  $r = a_0$ . 2. Продольные перемещения при  $r = a_0$ . 3. Радиальные перемещения при  $r = a_0$ . Из рис.2 видно, что в течении времени отраженных волн от слоев значительно влияет на формировании перемещений. Отражение волны значительно влияет на радиальные перемещения.

На рис.3 приведено изменение касательных напряжений в зависимости от времени при скользящем контакте (1. При  $r = a_2$ ; 2. При  $r = a_1$ ). Все графики соответствуют расчетам при  $K = 30$ ,  $m = 0, 1, 2, \dots, 13$ , и с увеличением  $K$  практически не меняются.

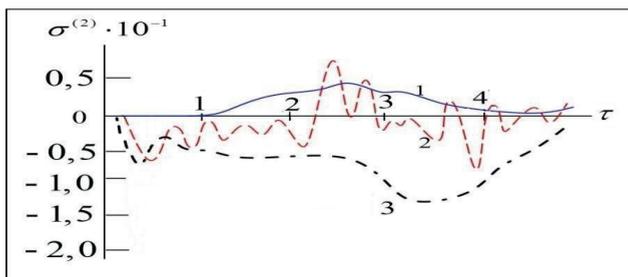


Рис.1. Изменение контурных напряжений в зависимости от времени:

1.  $r = a_0$ ; 2.  $r = a_1$ ; 3.  $r = a_2$ .

(Fig.1. Change of contour stresses depending on time:

1.  $r = a_0$ ; 2.  $r = a_1$ ; 3.  $r = a_2$ .)

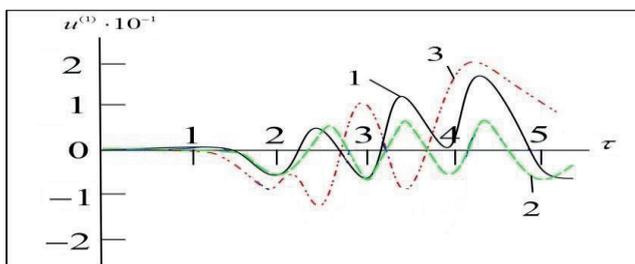


Рис.2. Изменение перемещений в зависимости от времени:

1. Контурные перемещения при  $r = a_0$ ; 2. Продольные перемещения при  $r = a_0$ ;

3. Радиальные перемещения при  $r = a_0$ .

(Fig.2. Change of displacements depending on time:

1. Contour displacements at  $r = a_0$ ; 2. Longitudinal displacements at  $r = a_0$ ;

3. Radial displacements at  $r = a_0$ .)

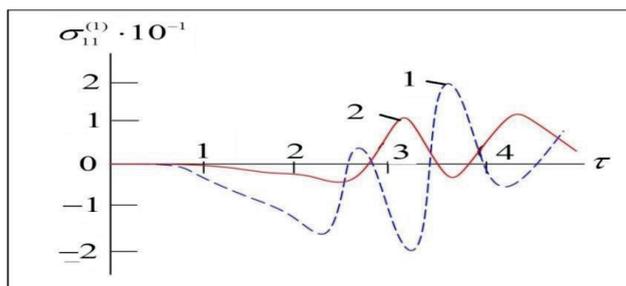


Рис.3. Изменение касательных напряжений в зависимости от времени при скользящем контакте:

1. При  $r = a_2$ ; 2. При  $r = a_1$ .

(Fig.3. Change of tangential stresses depending on time during sliding contact:

1. At  $r = a_2$ ; 2. At  $r = a_1$ .)

Подчеркивается, что приведенный выше способ отыскания оригинала позволяет получать аналогичные решения при различной геометрии, при наличии массовых сил и при разных типах граничных условий.

### **Заключение**

Представленные результаты показывают принципиальную возможность найти среди ядер релаксации, состоящих всего из одной экспоненты, те, которые окажут на переходные волновые процессы в линейно-вязкоупругих оболочках практически такое же влияние, что и регулярные ядра в виде суммы нескольких экспонент. Условия соответствия между вязкоупругими ядрами, предложенные для задач о переходных волновых процессах в рамках классических постановок задач механики деформированного твердого тела при ограниченной области распространения возмущений, оказались правомерными и для цилиндрической оболочки бесконечной длины, подверженной воздействию нагрузки в виде одиночного импульса или функции Хевисайда. Заметим, что в данной работе приведены лишь отдельные характерные результаты выполненных расчетов. Их следует расценивать как предварительный этап дальнейших исследований влияния наследственных свойств материала на переходные волновые процессы в твердых деформируемых телах, рассматриваемые в рамках теории вырожденных систем – пластин и оболочек.

Таким образом, в ходе исследования были разработаны методика решения и алгоритм для решения задачи распространения нестационарных волн в слоистом вязкоупругом цилиндре. На основе численных результатов установлено, что отраженные волны значительно влияют на значения радиальных перемещений.

### **ЛИТЕРАТУРА**

Петрашень Г.И., Молотков Л.А., Крауклис П.В. (1982). Волны в слоисто-однородных изотропных упругих средах. Метод контурных интегралов в нестационарных задачах динамики. — Л.: Наука, 1982. — 288 с.

Жигалько Ю.Н., Дмитриева Л.М. (1975). Реакция ортотропной цилиндрической оболочки на локализованный импульс внешнего давления // Исследования по теории пластин и оболочек. — Казань, 1975. — Вып. 11. — С. 254–261.

Петрашень Г.И., Молотков Л.А., Крауклис П.В. (1985). Волны в слоисто-однородных изотропных упругих средах. Оптимальные представления полей волн в моделях основного эталонного типа. Волновые поля в средах с цилиндрическими или сферическими границами. — Л.: Наука, 1985. — 302 с.

Ardazishvili R.V. (2014). Antisymmetric higher order edge waves in plates with fixed faces // Proc. of the XLII Summer School-Conference “Advanced problems in mechanics (APM)”, St. Petersburg (Repino), June 30 – July 5. — 2014. — 1 CD-ROM. — Pp. 199–204.

Destrade M. (2004). Surface waves in a deformed isotropic hyperplastic material subject to an isotropic internal constraint // Wave Motion. — 2004. — Vol. 40. № 4. — Pp. 347–357.

Dowaikh M. (1990). On surface waves and deformation in a pre-stressed, incompressible elastic solid // IMA Journal of Applied Mathematics (Institute of Mathematics and Its Applications). — 1990. — Vol. 44. — № 3. — Pp. 261–284.

Fu Y. (2003). Existence and uniqueness of edge waves in a generally anisotropic elastic plate // *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. — 2003. — Vol. 56. — Pp. 605–616.

Ma Y., Zhang Q., Zhang D., Scarpa F., Liu B., Hong J. (2015). The mechanics of shape memory alloy metal rubber. *Acta Mater.* — 2015. — 96. — Pp. 89–100. (in Eng.)

Zhang D., Scarpa F., Ma Y., Boba K., Hong J., Lu H. (2013). Compression mechanics of nickel-based superalloy metal rubber. *Mater. Sci. Eng. A.* — 2013. — 580. — Pp. 305–312. (in Eng.)

Safarov I., Tessaev M., Marasulov A., Nuriddinov B.Z. (2021). Propagation of own non-axisymmetric waves in viscoelastic three-layered cylindrical shells. *Engineering journal*. — 2021. — 25(7). — Pp. 97–107.

Wang K.F. and Wang B.L. (2013). “Effects of surface and interface energies on the bending behavior of nanoscale multilayered beams”, *Physica E.* — 2013. — 54. — Pp. 197–201.

Sarrami-Foroushani S. and Azhari M. (2014). “Nonlocal vibration and buckling analysis of single and multi-layered graphene sheets using finite strip method including van der Waals effects”, *Physica E.* — 2014. — 57. — Pp. 83–95.

Anjomshoa A., Shahidi A.R., Hasani B. and Jomehzadeh E. (2014). “Finite Element Buckling Analysis of Multi-Layered Graphene Sheets on Elastic Substrate Based on Nonlocal Elasticity Theory,” *Applied Mathematical Modelling*. — 2014. — 38. — Pp. 5934–5955.

Pradhan S.C. and Phadikar J.K. (2009). “Small scale effect on vibration of embedded multilayered graphene sheets based on nonlocal continuum models”, *Physics Letters A.* — 2009. — 373. — Pp. 1062–1069.

Hosseini Hashemi S. and Bakhshi Khaniki H. (2016). “Analytical solution for free vibration of a variable cross-section nonlocal nanobeam”, *International Journal of Engineering (IJE) Transactions B: Applications*. — 2016. — 29. — Pp. 688–696.

M.Kh. Tessaev, I.I. Safarov, M.M. Mirsaidov (2019). “Oscillations of multilayer viscoelastic composite toroidal pipes”, *J. –of the Serbian Society for Computational Mechanics*. — 2019. — Vol. 13. — No. 2. — Pp. 105–116.

Nazemnezhad R. and Hosseini-Hashemi Sh. (2014). “Free vibration analysis of multi-layer graphene nanoribbons incorporating interlayer shear effect via molecular dynamics simulations and nonlocal elasticity”, *Physics Letters A.* — 2014. — 378. — Pp. 3225–3232.

## REFERENCES

Petrashen G.I., Molotkov L.A., Krauklis P.V. (1982). *Waves in layered homogeneous isotropic elastic media. The method of contour integrals in non-stationary problems of dynamics*. — L.: Nauka, 1982. — 288 p. (in Russ.)

Zhigalko Yu.N., Dmitrieva L.M. (1975). Reaction of an orthotropic cylindrical shell to a localized external pressure pulse // *Research on the theory of plates and shells*. — Kazan, 1975. — Vol 11. — P. 254–261. (in Russ.)

Petrashen G.I., Molotkov L.A., Krauklis P.V. (1985). *Waves in layered homogeneous isotropic elastic media. Optimal representations of wave fields in models of the basic reference type. Wave fields in media with cylindrical or spherical boundaries*. — L.: Nauka, 1985. — 302 p. (in Russ.)

Ardazishvili R.V. (2014). Antisymmetric higher order edge waves in plates with fixed faces // *Proc. of the XLII Summer School-Conference “Advanced problems in mechanics (APM)”*, St. Petersburg (Repino), June 30 – July 5. — 2014. — 1 CD-ROM. — Pp. 199–204. (in Eng.)

Destrade M. (2004). Surface waves in a deformed isotropic hyperplastic material subject to an isotropic internal constraint // *Wave Motion*. — 2004. — Vol. 40. № 4. — Pp. 347–357. (in Eng.)

Dowaikh M. (1990). On surface waves and deformation in a pre-stressed, incompressible elastic solid // *IMA Journal of Applied Mathematics (Institute of Mathematics and Its Applications)*. — 1990. — Vol. 44. № 3. — Pp. 261–284. (in Eng.)

Fu Y. (2003). Existence and uniqueness of edge waves in a generally anisotropic elastic plate // *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. — 2003. — Vol. 56. — Pp. 605–616. (in Eng.)

Ma Y., Zhang Q., Zhang D., Scarpa F., Liu B., Hong J. (2015). The mechanics of shape memory alloy metal rubber. *Acta Mater.* — 2015. — 96. — Pp. 89–100. (in Eng.)

Zhang D., Scarpa F., Ma Y., Boba K., Hong J., Lu H. (2013). Compression mechanics of nickel-based superalloy metal rubber. *Mater. Sci. Eng. A.* — 2013. — 580. — Pp. 305–312. (in Eng.)

Safarov I., Teshaev M., Marasulov A., Nuriddinov B.Z. (2021). Propagation of own non-axisymmetric waves in viscoelastic three-layered cylindrical shells. *Engineering journal.* — 2021. — 25(7). — Pp. 97–107. (in Eng.)

Wang K.F. and Wang B.L. (2013). “Effects of surface and interface energies on the bending behavior of nanoscale multilayered beams”, *Physica E.* — 2013. — 54. — Pp. 197–201. (in Eng.)

Sarrami-Foroushani S. and Azhari M. (2014). “Nonlocal vibration and buckling analysis of single and multi-layered graphene sheets using finite strip method including van der Waals effects”, *Physica E.* — 2014. — 57. — Pp. 83–95. (in Eng.)

Anjomshoa A., Shahidi A.R., Hasani B. and Jomehzadeh E. (2014). “Finite Element Buckling Analysis of Multi-Layered Graphene Sheets on Elastic Substrate Based on Nonlocal Elasticity Theory,” *Applied Mathematical Modelling.* — 2014. — 38. — Pp. 5934–5955. (in Eng.)

Pradhan S.C. and Phadikar J.K. (2009). “Small scale effect on vibration of embedded multilayered graphene sheets based on nonlocal continuum models”, *Physics Letters A.* — 2009. — 373. — Pp. 1062–1069. (in Eng.)

Hosseini Hashemi, S. and Bakhshi Khaniki, H. (2016). “Analytical solution for free vibration of a variable cross-section nonlocal nanobeam”, *International Journal of Engineering (IJE) Transactions B: Applications.* — 2016. — 29. — P. 688–696. (in Eng.)

M.Kh. Teshaev, I.I. Safarov, M.M. Mirsaidov. (2019). “Oscillations of multilayer viscoelastic composite toroidal pipes”, *J. of the Serbian Society for Computational Mechanics.* — 2019. — Vol. 13. No. 2. — Pp. 105–116. (in Eng.)

Nazemnezhad R. and Hosseini-Hashemi Sh. (2014). “Free vibration analysis of multi-layer graphene nanoribbons incorporating interlayer shear effect via molecular dynamics simulations and nonlocal elasticity”, *Physics Letters A.* — 2014. — 378. — Pp. 3225–3232. (in Eng.)



**РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ**  
**(к 90-летию со дня рождения)**

Выдающийся ученый-горняк, действительный член Национальной академии наук Республики Казахстан, заслуженный деятель РК, доктор технических наук, профессор, почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К. И. Сатпаева Баян Ракишевич Ракишев родился 15 марта 1934 года.

После окончания с отличием Казахского горно-металлургического института с 1957 по 1965 годы он работал на Коунрадском руднике Балхашского горно-металлургического комбината в должностях начальника смены, начальника цеха и карьера. В 1964 году без отрыва от производства успешно защитил кандидатскую диссертацию.

Дальнейшая его трудовая деятельность связана с родным вузом. С 1966 по 1987 годы доцент, профессор, заведующий кафедрой теоретической механики, в период с 1988 по 2016 год заведующий кафедрой открытых горных работ, с 1980 по 1993 год научный руководитель проблемной лаборатории новых физических методов разрушения горных пород и отраслевой лаборатории технологии буровзрывных работ КазПТИ им. В.И. Ленина. С 2016 года по настоящее время он профессор кафедры «Горное дело», почетный ректор Казахского национального исследовательского технического университета им. К.И. Сатпаева.

Под руководством Б. Ракишева факультет Автоматики и вычислительной техники занимал передовые позиции в научно-исследовательской, учебно-производственной и общественной деятельности. Факультетский ансамбль «Досмукасан» сформировался, состоялся как творческий самостоятельный коллектив и стал популярным в странах СНГ. О творческой деятельности

«Досмукасан» и роли декана Баяна Ракишева в его становлении рассказывается в кинофильме «Досмукасан», выпущенном Казахфильмом в 2020 году.

В должностиректора он всю свою силу и энергию отдавал расширению связей науки с производством, практической подготовке будущих специалистов. Тогда в КазПТИ впервые в Казахстане были организованы специализированные студенческие отряды для прохождения производственных практик, открылось несколько филиалов кафедр на базе предприятий и НИИ. Активно внедрялись договоры о научно-техническом содружестве и подготовке специалистов по прямым связям с предприятиями. Контингент иностранных студентов из 37 стран в то время составлял внушительную цифру – более 300 человек. Существенно улучшилось состояние материально-технической базы института. КазПТИ им. В.И. Ленина был одним из ведущих высших учебных заведений СССР.

Баян Ракишевич создал стройную теорию разрушения реального массива горных пород действием взрыва ВВ. Разработал аналитические методы определения расположения зарядов ВВ в массиве, гранулометрического состава взорванной горной массы, затрат энергии ВВ на дробление, перемещение и графо-аналитические методы определения размещения разнородных пород в развале, параметров технологий буровзрывных и экскаваторных работ, обеспечивающих наименьшие количественные и качественные потери.

Баяном Ракишевым сформулированы стратегические задачи рационального освоения недр и комплексного использования полезных ископаемых, обоснованы системы их обеспечения, разработаны горно-геологические, геометрические модели сложноструктурных блоков месторождений, математические модели минерального сырья на различных этапах его переработки, позволяющие управлять уровнем извлечения как основных, так и сопутствующих полезных компонентов в концентрат, в металл, что чрезвычайно важно в условиях систематического снижения содержания профильных металлов в руде и увеличения спроса на редкие металлы в связи с развитием высоких технологий.

Разработанные математические модели стабилизации качества многокомпонентной руды для оперативного управления внутрикарьерным усреднением и состоянием минерального сырья на каждом из этапов его переработки способствуют совершенствованию экономически эффективных технологий добычи и переработки полезных ископаемых.

Научными работами, выполненными на высоком теоретическом уровне и оригинальными практическими разработками, получившими признание горной общественности, академик Б.Р. Ракишев внес большой вклад в горную науку и промышленность, создал научную школу в области эффективного разрушения массивов пород и разработки полезных ископаемых в режиме их рационального использования недр, подготовил 9 докторов, 30 кандидатов технических наук, 9 докторов PhD, сотни магистров и инженеров.

Академик НАН РК Б.Р. Ракишев является автором около 800 научных и учебно-методических работ, в том числе 15 монографий, 6 аналитических обзоров, 14 учебников и учебных пособий, 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения, более 100 статей в изданиях в базе данных Scopus и Web of Science.

За заслуги в области научной, педагогической и организационной деятельности Б. Р. Ракишев награжден орденами Трудового Красного Знамени и «Парасат», шестью медалями СССР и РК, Почетной грамотой Верховного Совета Казахской ССР, удостоен почетного звания «Заслуженный деятель РК», является лауреатом Республиканской премии им. К.И. Сатпаева.

Баян Ракишевич и сейчас ведет активную научно-исследовательскую, научно-организационную работу, являясь научным руководителем проектов Министерства науки и высшего образования РК, председателем диссертационного совета по защите докторских диссертаций, руководителем докторантов PhD, вице-президентом ОО «Союз ученых Казахстана», почетным президентом Горнопромышленного союза Казахстана, членом редколлегий журналов Казахстана, России, Украины и Узбекистана.

Поздравляя Баяна Ракишевича с юбилеем, желаем ему здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов.

*Министерство высшего образования и науки РК,  
Национальная академия наук РК,  
Казахский национальный исследовательский  
технический университет им. К.И. Сатпаева,  
редакции журналов «Доклады НАН РК» и  
«Вестник НАН РК»*

## МАЗМУНЫ

### ФИЗИКА

<b>Ж.С. Байымбетова, Н.А. Сандибаева, Е.А. Склярова, Н.Ж. Ахметова</b> ОРТА МЕКТЕП ФИЗИКА ПӘНІН ОҚЫТУДЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ: ӘДЕБИЕТТЕРГЕ ШОЛУ.....	7
<b>Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, Е.С. Отунчи, А.Қ. Шонғалова, А.Г. Умирзаков</b> АТОМДЫҚ ДЕҢГЕЙДЕ АЛКИЛ АРАЛЫҚТАРЫ АРҚЫЛЫ $WS_2$ НАНОПАРАҚТАРЫНЫҢ ФОТОСЕЗІМТАЛДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН АРТТЫРУ.....	16
<b>А.А. Жадыранова, Д.К. Аншокова</b> МОДИФИЦИРОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛОГАРИФМИЧЕСКИ СКОРРЕКТИРОВАННОЙ ЖИДКОСТИ СО СТЕПЕННЫМ ЗАКОНОМ.....	31
<b>В.Ю. Ким, Ш.Т. Омаров</b> АЛЫТ-АЗИМУТАЛДЫ МОНТАЖДАУДАН ӨТКЕН ТЕЛЕСКОПТЫҢ ДЕРОТАТОРЛЫ ӨРІСІ.....	50
<b>А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, Ә.С. Төлеп, Г.А. Абдраимова</b> ҚАБАТТЫ ТҮТҚЫР СЕРПІМДІ ЦИЛИНДРДЕ СТАЦИОНАРЛЫҚ ЕМЕС ТОЛҚЫНДАРДЫҢ ТАРАЛУЫ.....	63
<b>М. Пахомов, Ү. Жапбасбаев, Г. Рамазанова</b> ҚҰБЫРДАҒЫ ТҮТҚЫР-ПЛАСТИКАЛЫҚ СҮЙІҚТЫҚТЫҢ ИЗОТЕРМИЯЛЫҚ ЕМЕС ТУРБУЛЕНТТІК АҒЫСЫН ЕСЕПТЕУГЕ АРНАЛҒАН РЕЙНОЛЬДС КЕРНЕУІ МОДЕЛІ.....	79
<b>К. Саурова, С. Нысанбаева, Н. Сейдахмет, Г. Турлыбекова, Қ. Астемесова</b> ҒАРЫШ АППАРАТЫНЫҢ ОРБИТАЛДЫҚ ҚОЗҒАЛЫС ДИНАМИКАСЫН СИМУЛЯЦИЯЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ.....	95
<b>Е.О. Шаленов, Е.С. Сейтқожанов, М.М. Сейсембаева, К.Н. Джумагулова</b> СЭНДВИЧ ПЕН КЕРІ КОНТАКТЫ ПЕРОВСКИТ КҮН ЭЛЕМЕНТТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ.....	109
<b>Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк</b> КОМЕТАЛАРДЫҢ ТЕРМИЯЛЫҚ КЕРНЕУЛЕРМЕН ЖОЙЫЛУЫ.....	123
<b>С.А. Шомшекова, М.А. Кругов, Ч.Т. Омаров, Е.К. Аймурагов</b> АСТРОХАБ ШЕҢБЕРІНДЕ ҒЫЛЫМДЫ НАСИХАТТАУ.....	139

### ХИМИЯ

<b>Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс,</b> <b>И.С. Сапарбекова</b> ПОЛИМЕТАКРИЛ ҚЫШҚЫЛЫ МЕН ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИН ГЕЛЬДЕРІНІҢ ҚАШЫҚТЫҚТАН ӨРЕКЕТТЕСУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ.....	155
<b>Ә. Қаппасұлы, Д. Махаева, Ж. Қожантаева, Ғ. Ирмухаметова</b> ДӘРІЛІК ЗАТТАРДЫ ЖЕТКІЗУДІҢ ОФТАЛЬМОЛОГИЯЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРІН ӨЗІРЛЕУ ҮШІН МЕТАКРИЛДЕНГЕН АЛГИН ҚЫШҚЫЛЫН АЛУ.....	167
<b>А. Карилхан, А. Турсынова</b> МОНОТЕРПЕНДІК ЦИТРОНЕЛЛАЛДАН ИЗОПУЛЕГОЛ ЖӘНЕ МЕНТОЛ СИНТЕЗІН ЗЕРТТЕУ.....	186
<b>А.А. Құдайбергін, А.К. Нурлыбекова, Ж. Жеңіс, М.А. Дюсебаева</b> ARTEMISIA TERRAE-ALBAE МАЙДА ЕРИТІН СЫҒЫНДЫСЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ.....	195
<b>М.Г. Мурзагалиева, Н.С. Ашимхан, А.О. Сапиева</b> АҒЫНДЫ СУЛАРДЫ ТАБИҒИ АДСОРБЕНТТЕРМЕН ТАЗАЛАУДЫҢ КОЛЛОИДТЫ – ХИМИЯЛЫҚ ПРОЦЕСІН ЗЕРТТЕУ.....	204

<b>Г.Ф. Сагитова, С.А. Сакибаева, Б.А. Сақыбаев, З.А. Емқұлова, В.Ю. Морозова</b> БУТАДИЕН-НИТРИЛДІ КАУЧУКТАР МЕН ТОЛЫҚТЫРҒЫШТАР НЕГІЗІНДЕГІ ТЫҒЫЗДАҒЫШ РЕЗИНАЛАРДЫ ӨЗІРЛЕУ.....	219
<b>Б. Серикбаева, Р. Абжалов, А. Колесников, Ш. Кошкарбаева, М. Сатаев</b> ПОЛИМЕРЛЕРДІҢ ТІКЕЛЕЙ ФОТОХИМИЯЛЫҚ КҮМІСТЕНУІ.....	230
<b>А.Т. Такибаева, О.В. Демец, А.А. Жорабек, А. Карилхан, Д.А. Ражабова</b> ЛУПАН ТРИТЕРПЕНОИДТАРЫНЫҢ БИОЛОГИЯЛЫҚ БЕЛСЕНДІ ЗАТТАРЫН СИНТЕЗДЕУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	244
<b>Б.Р. Таусарова, М.Ш. Сулейменова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина</b> МЫС НАНОБӨЛШЕКТЕРІНІҢ НЕГІЗІНДЕГІ ЦЕЛЛЮЛОЗАЛЫҚ ТОҚЫМА МАТЕРИАЛДАРЫНЫҢ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	259
<b>Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова</b> КӨМІРТЕКСІЗДЕНДІРУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДАҒЫ ЖЫЛУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ГАЗДАРЫН АЛДЫН АЛА ӨҢДЕУ.....	271
<b>РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ</b> (90 жас).....	283

## СОДЕРЖАНИЕ

## ФИЗИКА

<b>Ж.С. Байымбетова, Н.А. Сандибаева, Е.А. Склярова, Н.Ж. Ахметова</b> СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОБУЧЕНИЕМ ФИЗИКОЙ В СРЕДНЕЙ ШКОЛЕ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	7
<b>Е.А. Дмитриева, А.Е. Кемелбекова, Е.С. Отунчи, А.Қ. Шонгалова, А.Г. Умирзаков</b> УЛУЧШЕНИЕ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ НАНОЛИСТОВ WS <sub>2</sub> С ПОМОЩЬЮ АЛКИЛЬНЫХ СПЕЙСЕРОВ НА АТОМИСТИЧЕСКОМ УРОВНЕ.....	16
<b>А.А. Жадыранова, Д.К. Аншокова</b> ДӘРЕЖЕЛІК ЗАҢЫ БАР ЛОГАРИФМДІК МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН СҮЙІҚТЫҚ КҮЙІНІҢ ӨЗГЕРТІЛГЕН ТЕНДЕУІ.....	31
<b>В.Ю. Ким, Ч.Т. Омаров</b> ДЕРОТАТОР ПОЛЯ ДЛЯ ТЕЛЕСКОПА НА АЛЬТ-АЗИМУТАЛЬНОЙ МОНТИРОВКЕ.....	50
<b>А. Марасулов, И.И. Сафаров, М.Х. Тешаев, А.С. Тулеп, Г.А. Абдраимова</b> РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВОЛН В СЛОИСТОМ ВЯЗКОУПРУГОМ ЦИЛИНДРЕ.....	63
<b>М. Пахомов, У. Жапбасбаев, Г. Рамазанова</b> МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЙНОЛЬДСА ДЛЯ РАСЧЕТА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ.....	79
<b>К. Саурова, С. Нысанбаева, Н. Сейдахмет, Г. Турлыбекова, Қ. Астемесова</b> ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА.....	95
<b>Е.О. Шаленов, Е.С. Сейткочанов, М.М. Сейсембаева, К.Н. Джумагулова</b> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЭНДВИЧ И ОБРАТНО-КОНТАКТНЫХ ПЕРОВСКИТНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ.....	109
<b>Л.И. Шестакова, Р.Р. Спасюк</b> РАЗРУШЕНИЕ КОМЕТ ТЕРМИЧЕСКИМИ НАПРЯЖЕНИЯМИ.....	123
<b>С.А. Шомшекова, М.А. Кругов, Ч.Т. Омаров, Е.К. Аймуратов</b> ПОПУЛЯРИЗАЦИЯ НАУКИ В РАМКАХ АСТРОХАБА.....	139

## ХИМИЯ

<b>Т.К. Джумадилов, Г.Т. Дюсембаева, Ж.С. Мукатаева, Ю.В. Гражулявичюс, И.С. Сапарбекова</b> ОСОБЕННОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГИДРОГЕЛЕЙ ПОЛИМЕТАКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ И ПОЛИ-2-МЕТИЛ-5-ВИНИЛПИРИДИНОМ.....	155
<b>Ә. Қаппасұлы, Д.Н. Махаева, Ж. Кожантаева, Г.С. Ирмухаметова</b> ПОЛУЧЕНИЕ МЕТАКРИЛИРОВАННОЙ АЛЬГИНОВОЙ КИСЛОТЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДОСТАВКИ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ВЕЩЕСТВ.....	167
<b>А. Карилхан А. Турсынова</b> ИЗУЧЕНИЕ СИНТЕЗА ИЗОПУЛЕГОЛА И МЕНТОЛА ИЗ МОНОТЕРПЕНОVOГО ЦИТРОНЕЛЛАЛЯ.....	186
<b>А.А. Кудайбергел, А.К. Нурлыбекова, Ж. Женис, М.А. Дюсебаева</b> ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЖИРОРАСТВОРИМОГО ЭКСТРАКТА ARTEMISIA TERRAE-ALBAE.....	195
<b>М.Г. Мурзагалиева, Н.С. Ашимхан, А.О. Сапиева</b> ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПРИРОДНЫМИ АДСОРБЕНТАМИ.....	204
<b>Г.Ф. Сагитова, С.А. Сакибаева, Б.А. Сақыбаев, З.А. Емкулова, В.Ю. Морозова</b> РАЗРАБОТКА УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ РЕЗИН НА ОСНОВЕ БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНЫХ КАУЧУКОВ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ.....	219

<b>Б.С. Серикбаева, Р. Абжалов, А.В. Колесников, Ш.Т. Кошкарбаева, М.С. Сатаев</b> ПРЯМОЕ ФОТОХИМИЧЕСКОЕ СЕРЕБРЕНИЕ ПОЛИМЕРОВ.....	230
<b>А.Т. Такибаева, О.В. Демец, А.А. Жорабек, А. Карилхан, Д.А. Ражабова</b> СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ЛУПАНОВЫХ ТРИТЕРПЕНОИДОВ.....	244
<b>Б.Р. Таусарова, М.Ш. Сулейменова, Ж.Е. Шаихова, С.О. Абилкасова, Л.М. Калимолдина</b> ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ МЕДИ.....	259
<b>Б.Х. Хусаин, А.Р. Бродский, А.С. Сасс, И.И. Торлопов, К.Р. Рахметова</b> ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОЧИСТКА ГАЗОВ ТЕПЛОВЫХ УСТРОЙСТВ В ТЕХНОЛОГИИ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ.....	271
<b>РАКИШЕВ БАЯН РАКИШЕВИЧ (к 90-летию со дня рождения).....</b>	<b>283</b>

**CONTENTS**  
**PHYSICAL**

<b>Zh.S. Baiymbetova, N.A. Sandibaeva, E.A. Sklyarova, N.Zh. Akhmetova</b> THE SECONDARY SCHOOL PHYSICS LEARNING MANAGEMENT SYSTEM (LMS): LITERATURE REVIEW.....	7
<b>E.A. Dmitriyeva, A.E. Kemelbekova, Ye.S. Otunchi, A.K. Shongalova, A.G. Umirzakov</b> ENHANCING PHOTSENSITIVE PROPERTIES OF WS <sub>2</sub> NANOSHEETS VIA ALKYL SPACERS AT THE ATOMISTIC LEVEL.....	16
<b>A.A. Zhadyranova, D.K. Anshokova</b> MODIFIED EQUATION OF STATE OF A LOGARITHMICALLY VISCOUS FLUID WITH A POWER LAW.....	31
<b>V.Yu. Kim, Ch.T. Omarov</b> FIELD DEROTATOR FOR A TELESCOPE WITH ALTAZIMUTH MOUNT.....	50
<b>A. Marasulov, I.I. Safarov, M.Kh. Tshaev, A.S. Tolep, G.A. Abdraimova</b> PROPAGATION OF NON-STATIONARY WAVES IN A LAYERED VISCOELASTIC CYLINDER.....	63
<b>M. Pakhomov, U. Zhapbasbayev, G. Ramazanova</b> RSM MODEL FOR CALCULATING NON-ISOTHERMAL TURBULENT FLOW OF A VISCOPLASTIC FLUID IN A PIPE.....	79
<b>K. Saurova, S. Nysanbaeva, N. Seidakhmet, G. Turlybekova, K. Astemesova</b> SIMULATION MODELING OF ORBITAL MOTION DYNAMICS SPACE CAR.....	95
<b>E.O. Shalenov, Ye.S. Seitkozhanov, M.M. Seisembayeva, K.N. Dzhumagulova</b> COMPARATIVE ANALYSIS OF SANDWICH AND BACK-CONTACT PEROVSKITE SOLAR CELLS.....	109
<b>L.I. Shestakova, R.R. Spassyyk</b> DESTRUCTION OF COMETS BY THERMAL STRESSES.....	123
<b>S.A. Shomshekova, M.A. Krugov, Ch.T. Omarov, Y.K. Aimuratov</b> POPULARIZATION OF SCIENCE WITHIN ASTROHUB.....	139

**CHEMISTRY**

<b>T.K. Jumadilov, G.T. Dyussebayeva, Zh.S. Mukataeva, J.V. Gražulevicius, I.S. Saparbekova</b> FEATURES OF REMOTE INTERACTION BETWEEN HYDROGELS OF POLYMETHACRYLIC ACID AND POLY-2-METHYL-5-VINYLPYRIDINE.....	155
<b>A. Kappasuly, D. Makhayeva, Zh. Kozhantayeva, G. Irmukhametova</b> PREPARATION OF METHACRYLATED ALGINIC ACID FOR THE DEVELOPMENT OF OPHTHALMOLOGICAL DRUG DELIVERY SYSTEMS.....	167
<b>A. Karilkhan, A. Tursynova</b> STUDY OF THE SYNTHESIS OF ISOPULEGOL AND MENTHOL FROM MONOTERPENE CITRONELLAL.....	186
<b>A.A. Kudaibergen, A.K. Nurlybekova, J. Jenis, M.A. Dyusebaeva</b> CHEMICAL CONSTITUENTS OF LIPOSOLUBLE EXTRACT OF ARTEMISIA TERRAE-ALBAE.....	195
<b>M.G. Murzagaliyeva, N.S. Ashimkhan, A.O. Sapieva</b> INVESTIGATION OF COLLOID-CHEMICAL PROCESSES OF WASTERWATER TREATMENT WITH NATURAL ADSORBENTS.....	204
<b>G.F. Sagitova, S.A. Sakibayeva, B.A. Sakybayev, Z.A. Emkulova, V.Yu. Morozova</b> DEVELOPMENT OF SEALING RUBBERS BASED ON BUTADIENE-NITRILE RUBBERS AND FILLERS.....	219
<b>B.S. Serikbayeva, R. Abzhalov, A.V. Kolesnikov, Sh.T. Koshkarbayeva, M.S. Satayev</b> DIRECT PHOTOCHEMICAL SILVERATION OF POLYMERS.....	230

<b>A.T. Takibayeva, O.V. Demets, A.A. Zhorabek, A. Karilkhan, D.A. Rajabova</b> SYNTHESIS AND RESEARCH OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF LUPAN TRITERPENOIDS.....	244
<b>B.R. Taussarova, M.Sh. Suleimenova, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina</b> STUDY OF PROPERTIES OF CELLULOSE TEXTILE MATERIALS BASED ON COPPER NANOPARTICLES.....	259
<b>B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.R. Rakhmetova</b> PRELIMINARY TREATMENT OF THERMAL DEVICES' EMISSIONS IN DECARBONIZATION TECHNOLOGY.....	271
<b>AKISHEV BAYAN RAKISHEVICH</b> (on the 90th anniversary of birth) .....	283

## **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](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](http://www.nauka-nanrk.kz)**

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

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

Подписано в печать 29.03.2024.

Формат 60x88<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.