

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

ТИГИНЬЯНУ 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 № KZ93VPY00025418 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 Искендрович, 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), 79–94

<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.258>

УДК 532.542, 532.135

© M. Pakhomov¹, U. Zhabbasbayev², G. Ramazanova^{2*}, 2024

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia;

²U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: gaukhar.ri@gmail.com

RSM MODEL FOR CALCULATING NON-ISOTHERMAL TURBULENT FLOW OF A VISCOPLASTIC FLUID IN A PIPE

M. Pakhomov — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher, Kutateladze Institute of Thermophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Novosibirsk, Russia

E-mail: pakhomov@ngs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8127-3638>;

U. Zhabbasbayev — Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

Email: uzak.zh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5973-5149>;

G. Ramazanova — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, U.A. Joldasbekov Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

E-mail: gaukhar.ri@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8689-9293>.

Abstract. The paper presents the results of Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) model calculations of non-isothermal turbulent flow of a viscoplastic fluid in a pipe. The Reynolds stress model (RSM) was used to simulate turbulence. The results of calculations of Newtonian and non-Newtonian fluids were compared with the data of direct numerical simulation (DNS) calculations of other authors. The calculated data of the RSM showed a significant anisotropy of the axial and radial velocity fluctuations (up to several times) and good agreement with the DNS data of other authors. Incorporating supplementary runoff and source terms into the transfer equations for both averaged and turbulent flow characteristics results in a more accurate alignment with the DNS calculations regarding the distribution of turbulent non-Newtonian flow properties. The results of calculations of non-isothermal turbulent flow show the transition of a Newtonian fluid to a viscoplastic state. An increase of turbulent kinetic energy in the flow core and attenuation in the zone of yield stress manifestation are obtained. The averaged and fluctuation profiles express the indicated transformation of non-isothermal turbulent flow.

Keywords: non-isothermal turbulent flow, viscoplastic fluid, RANS, Reynolds stress model, non-Newtonian fluid

Acknowledgements. *This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan*

(Grant number BR20280990 for 2023-2025) and The Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (mega-grant 075-15-2021-575) (the RSM turbulence model).

© М. Пахомов¹, Ұ. Жапбасбаев², Г. Рамазанова^{2*}, 2024

¹РФА СБ С.С. Кутателадзе атындағы Жылуфизика институты,
Новосибирск, Ресей;

²Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану
институты, Алматы, Қазақстан.
E-mail: gaukhar.ri@gmail.com

ҚҰБЫРДАҒЫ ТҮТҚЫР-ПЛАСТИКАЛЫҚ СҰЙЫҚТЫҚТЫҢ ИЗОТЕРМИЯЛЫҚ ЕМЕС ТУРБУЛЕНТТІК АҒЫСЫН ЕСЕПТЕУГЕ АРНАЛҒАН РЕЙНОЛЬДС КЕРНЕУІ МОДЕЛІ

Пахомов М. — Физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, Ресей Ғылым академиясының Сібір бөлімшесінің С.С. Кутателадзе атындағы Жылуфизика институтының бас ғылыми қызметкері, Новосибирск, Ресей

E-mail: pakhomov@ngs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8127-3638>;

Жапбасбаев Ұ. — Техника ғылымдарының докторы, профессор, Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институтының бас ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан

E-mail: uzak.zh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5973-5149>;

Рамазанова Г. — Физика-математика ғылымдарының кандидаты, Академик Ө.А. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институтының жетекші ғылыми қызметкері, Алматы, Қазақстан

E-mail: gaukhar.ri@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8689-9293>.

Аннотация. Бұл мақалада құбырдағы тұтқыр-пластикалық сұйықтықтың изотермиялық емес турбулентті ағынының RANS есептеулерінің нәтижелері берілген. Рейнольдс кернеуі моделі (RSM) турбуленттілік модельдеу үшін пайдаланылды. Ньютондық және Ньютондық емес сұйықтықтарды есептеу нәтижелері басқа авторлардың DNS есептеулерінің деректерімен салыстырылды. RSM есептелген деректер осьтік және радиалды жылдамдық ауытқуларының елеулі анизотропиясын (бірнеше есеге дейін) және басқа авторлардың DNS деректерімен жақсы сәйкестігін көрсетті. Орташа және турбулентті ағын қасиеттеріне арналған тасымалдау теңдеулеріне ағын және бастау бойынша қосымша шарттарды енгізу турбулентті Ньютондық емес ағын қасиеттерінің таралуына қатысты DNS есептеулерімен жақсырақ келісімге әкеледі. Изотермиялық емес турбулентті ағынды есептеу нәтижелері Ньютон сұйықтығының тұтқыр-пластикалық күйге өтуін көрсетеді. Ағынның ядросында турбуленттік кинетикалық энергияның жоғарылауы және аққыштық кернеуінің байқалу аймағында оның басылуы орын алды. Орташа және пульсациялық профильдер изотермиялық емес турбулентті ағынның көрсетілген түрленуін білдіреді.

Түйін сөздер: изотермиялық емес турбулентті ағын, тұтқыр-пластикалық сұйықтық, Рейнольдс бойынша орташаланған Навье-Стокс тендеулері (RANS), Рейнольдс кернеу моделі, Ньютондық емес сұйықтық

© М. Пахомов¹, У. Жапбасбаев², Г. Рамазанова^{2*}, 2024

¹Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
Новосибирск, Россия;

²Институт механики и машиноведения имени академика
У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан.
E-mail: gaukhar.ri@gmail.com

МОДЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЙ РЕЙНОЛЬДСА ДЛЯ РАСЧЕТА НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОГО ТУРБУЛЕНТНОГО ТЕЧЕНИЯ ВЯЗКОПЛАСТИЧНОЙ ЖИДКОСТИ В ТРУБЕ

Пахомов М. — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия

E-mail: pakhomov@ngs.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8127-3638>;

Жапбасбаев У. — доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

Email: uzak.zh@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5973-5149>;

Рамазанова Г. — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт механики и машиноведения имени академика У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан
E-mail: gaukhar.ri@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8689-9293>.

Аннотация. В статье представлены результаты расчетов RANS неизоотермического турбулентного течения вязкопластичной жидкости в трубе. Для моделирования турбулентности использовалась модель напряжений Рейнольдса (RSM). Результаты расчетов ньютоновской и неньютоновской жидкостей сравнивались с данными прямого численного моделирования (DNS) других авторов. Расчетные данные RSM показали значительную анизотропию осевых и радиальных флуктуаций скорости (до нескольких раз) и хорошее согласие с данными DNS других авторов. Включение дополнительных условий стока и источника в уравнения переноса для осредненных и турбулентных характеристик потока приводит к более точному согласованию с расчетами DNS в части распределения турбулентных неньютоновских свойств потока. Результаты расчетов неизоотермического турбулентного потока свидетельствуют о переходе ньютоновской жидкости в вязкопластическое состояние. Получено увеличение турбулентной кинетической энергии в ядре потока и затухание в зоне проявления напряжения текучести. Осредненные и пульсационные профили выражают упомянутую трансформацию неизоотермического турбулентного потока.

Ключевые слова: неизоотермическое турбулентное течение, вязкопласти-

чая жидкость, уравнения Навье-Стокса, осреднённые по Рейнольдсу, модель напряжений Рейнольдса, неньютоновская жидкость

Introduction

Turbulent non-Newtonian fluid (NNF) flows are encountered in various engineering applications, in particular in pipeline transportation of viscoplastic (waxy) oil (Zhapbasbayev et al., 2021). Turbulence anisotropy, wall effects and stratification are characteristic of non-isothermal flow of a viscoplastic fluid and present difficulties in modeling.

Direct numerical simulation (DNS) and large eddy simulation (LES) are the main methods for studying non-Newtonian fluid (NNF). There are known works by LES (Gnambode et al., 2015), DNS (Gavrilov & Rudyak, 2016 a; Rudman & Blackburn, 2006; Rudman et al., 2004; Singh et al., 2017 a; Singh et al., 2017 b) on the study of turbulent power-law, viscoplastic and pseudoplastic non-Newtonian fluids. The results of average and fluctuations axial and radial velocities, wall friction and turbulent kinetic energy were obtained at Reynolds numbers Re from 5000 to 20000. Note that LES (Gnambode et al., 2015) and DNS (Gavrilov & Rudyak, 2016 a; Rudman & Blackburn, 2006; Rudman et al., 2004; Singh et al., 2017 a) dealt only with Buckley-Herschel fluids, and only the recent work (Singh et al., 2017 b) presents DNS prediction data for a viscoplastic yield stress fluid.

The high computational cost of the DNS model for predicting turbulent flows of viscoplastic fluids makes the RANS+RSM approach the viable alternative for engineering applications. Research into RANS modeling of wall effects on turbulence has seen significant progress since the seminal work of Durbin, 1991. This paper examines the effect of wall blocking using the elliptical relaxation method. Durbin presented a new rationale for modeling heterogeneity in the “pressure-strain” term. In a later paper (Durbin, 1993), Durbin successfully applied the second moment full closure procedure to a wide range of canonical flows. However, this resulted in an inordinately large number of equations, since there was a separate elliptic equation for each Reynolds stress. On the other hand, simple turbulence models could not adequately capture the anisotropy of turbulence compared to complete second moment closure (SMC).

Manceau & Hanjalic, 2002 developed a practical model to solve both wall blocking and anisotropic effects with a single elliptic relaxation equation for a full Reynolds stress model. There is already evidence in the literature of successful application of the model in various applications (Thielen et al., 2005, Fadaei-Ghotbi et al., 2008). These studies mainly concerned flows without heat exchange. The RSM model was also applied to forced convective heat transfer and generally gave good agreement with experimental results (Manceau & Hanjalic, 2000; Behnia et al., 1999).

Several papers have dealt with the study of heat transfer in turbulent NNF (Masoudian et al., 2016; Masoumi et al., 2019; Yigit et al., 2020). Turbulent flow

studies with viscoelastic polymer flow have been investigated (Masoudian et al., 2016). In (Masoumi et al., 2019), a numerical study of the natural convection of a Schwedoff-Bingham (SB) fluid between horizontal concentric cylinders was carried out. DNS study of the velocity and temperature spectra in Rayleigh–Benard convection was carried out in (Yigit et al., 2020). The authors showed that thermal convection weakens with increasing Rayleigh number.

In our work we consider axisymmetrical RANS modeling of turbulent non-isothermal flow with yield strength of a viscoplastic SB fluid. The turbulence of the fluid is modeled using RSM model. The novelty of the study is the transformation of the turbulent flow of a Newtonian fluid into a viscoplastic state due to heat transfer with the surrounding medium

Mathematical model

Physical Model of a Non-Newtonian Viscoplastic (Schwedoff-Bingham) Fluid

A schematic view of the flow configuration is shown in Figure 1. A non-isothermal viscoplastic non-Newtonian fluid (waxy crude oil) flow along an underground pipe with an inner diameter (I.D.) $D = 2R = 0.2$ m, length $L = 3$ m, and depth to pipe axis $H = 2$ m. The mean-mass velocity of the liquid flow at the pipe inlet was $U_{m1} = 0.2$ m/s and its initial temperature $T_1 = 298$ K. The ambient temperature (soil) was $T_{Soil} = 273–298$ K. The pipe material was stainless steel and the pipe wall thickness $\delta = 2$ mm. It was assumed that the temperature of the pipe wall from its outer side was equal to the soil temperature $T_{w2} = T_{Soil}$. The temperature of soil was a constant value. The density of fluid flow in the inlet cross-section $\rho_1 = 835$ kg/m³. The Reynolds number of the flow, determined from the flow parameters at the inlet (for a Newtonian fluid) $Re = U_{m1}D_1/\nu_{w1} = 8200$.

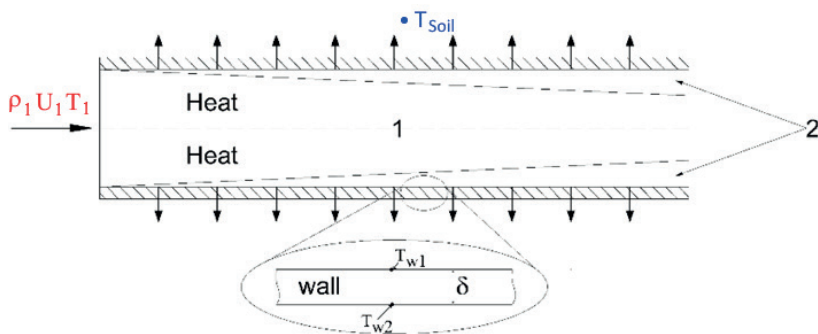


Figure 1 – Scheme of non-isothermal flow of paraffinic oil in a pipe:

1 – Newtonian fluid flow area; 2 – area of flow of the Schwedoff-Bingham non-Newtonian fluid.

Rheological Properties of a Non-Newtonian Fluid

In a non-Newtonian viscoplastic state, the effective molecular viscosity μ_{eff} can be modeled using the linear Schwedoff-Bingham rheological fluid model (Gavrilov & Rudyak, 2016 b; Finho, 2003). The effective molecular viscosity μ_{eff} of a fluid has the form

$$\mu_{eff} = \begin{cases} \mu_p + \tau_0 |\dot{\gamma}|^{-1}, & \text{if } |\tau| > \tau_0 \\ \infty, & \text{if } |\tau| \leq \tau_0 \end{cases} \quad (1)$$

Here τ_0 is the yield stress and μ_p is the plastic viscosity, $|\tau| = \sqrt{\tau_{ij}\tau_{ij}}$ is the second invariant of the deviatoric stress tensor, $\dot{\gamma} = \sqrt{2S_{ij}S_{ij}}$ is the shear rate, $S_{ij} = 0.5\left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i}\right)$ is the shear rate tensor.

The effective molecular viscosity of the non-Newtonian fluid in turbulent flows depends not only on the average turbulent velocity of the flow, but also on fluctuations of the shear rate tensor (Gavrilov & Rudyak, 2016 b). The instantaneous value of viscosity is represented as a sum of the averaged and fluctuational components. The expression for the mean shear rate in the non-Newtonian fluid has the following form and consists of two terms. Let us the average value of the molecular viscosity is related to the average value of the shear rate such as the same rheological relationship as for the instantaneous quantities (1). Then, the expression for the averaged shear rate can be written as (Gavrilov & Rudyak, 2016 b):

$$\langle \dot{\gamma} \rangle^2 = 2\langle S_{ij} \rangle \langle S_{ij} \rangle + (\rho\varepsilon) / \langle \mu_{eff} \rangle \quad \text{where} \quad \langle \mu_{eff} \rangle = \tau_0 \langle \dot{\gamma} \rangle + \mu_p \quad (2)$$

The main difficulty in the numerical modeling of viscoplastic flows, including a turbulent regime, with the help of expression (1), is associated with the existence of a singular molecular viscosity in regions where the shear stress is less than τ_0 . The approach of (Papanastasiou, 1987) was used in this work, where the effective viscosity was approximated by the following smooth function. It limits the value of effective viscosity as the shear rate tends to zero $\tau \rightarrow 0$:

$$\mu_{eff} = \mu_p + \tau_0 \frac{[1 - \exp(-10^3 |S|)]}{|S|}. \quad (3)$$

The Governing Equations for a Non-Newtonian Non-Isothermal Turbulent Fluid

The governing equations are given in symbols of vector analysis operations, although they are solved for an axisymmetric flow in cylindrical coordinates. The set of steady-state axisymmetric RANS equations of continuity, momentum in axial and radial directions, and the energy of a turbulent incompressible generalized Newtonian fluid has the form (Pakhomov & Zhabbasbayev, 2021; Pakhomov et al., 2023):

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U}) = 0 \quad (4)$$

$$\nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) = -\nabla P + \nabla \cdot (2\mu_{eff} \mathbf{S}) + \nabla \cdot (-\rho \langle \mathbf{u}' \mathbf{u}' \rangle) + \nabla \cdot (2\mu'_{eff} \mathbf{S}') \quad (5)$$

$$\nabla \cdot (\rho C_p T \mathbf{U}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (-\rho C_p \langle \mathbf{u}' t' \rangle) + \boldsymbol{\tau} : \mathbf{S} \quad (6)$$

Here, ρ , μ_{eff} , λ , and C_p are the density, effective molecular viscosity, thermal conductivity coefficient, and heat capacity of the fluid, respectively; $\mathbf{U} \equiv (u_x, u_r)$ is the velocity vector, ($u_x = U$, $u_r = V$) are the fluid velocity components in the axial (x) and radial (r) directions, respectively; P is the mean pressure; $\langle u_i u_j \rangle$ and $\langle u_j t \rangle$ are the Reynolds stress and turbulent heat flux. The last terms in the equations of motion and energy of system (6) consider the effects of heat release during viscous dissipation of kinetic energy in a non-Newtonian fluid and have the form (Vinay et al., 2005).

The turbulent Reynolds stress $-\rho \langle \mathbf{u}' \mathbf{u}' \rangle = -\rho \langle u_i u_j \rangle$ and turbulent heat flux $-\rho C_p \langle \mathbf{u}' t' \rangle = -\rho C_p \langle u_j t \rangle$ were written according to Boussinesq hypothesis (Pakhomov & Zhabbasbayev, 2021, Pakhomov et al., 2023). The expression $\nabla \cdot \langle 2\mu'_{\text{eff}} \mathbf{S}' \rangle$ in equation (8) is found according to representation of (Gavrilov & Rudyak, 2016 b).

Turbulent viscosity μ_T is determined using the RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002). The turbulent heat flux in the non-Newtonian fluid was obtained according to the Boussinesq hypothesis, which have the form:

$$\rho \langle u_j t \rangle = -\frac{\mu_T}{\text{Pr}_T} \frac{\partial T}{\partial x_j} \quad (7)$$

Here, Pr_T is the turbulent Prandtl number. It was determined in accordance with (Kays, 1994), where it was shown that for the range of variation of the molecular Prandtl number $\text{Pr} = 1-100$, the turbulent Prandtl number was $\text{Pr}_T = 0.85 + 0.7 / \text{Pe}_T$, where $\text{Pe}_T = \text{Pr}(v_T / \nu)$.

The RSM Turbulence Model

The elliptical relaxation RSM (Manceau & Hanjalic, 2002) considers anisotropy of complicated turbulent flows and is computationally more complicated than a well-known $k-\tilde{\varepsilon}$ turbulence model (Hwang & Lin, 1998). This model shows better results than the $k-\tilde{\varepsilon}$ turbulence isotropic model. The Reynolds stress components are derived from a system of partial differential equations, and the system of basic equations of the second-moment closure model of (Manceau & Hanjalic, 2002) is given:

$$\frac{D \overline{u_i u_j}}{Dt} = P_{ij} + D_{ij}^v + \Phi_{ij}^* - \varepsilon_{ij} + \frac{\partial}{\partial x_l} \left(\frac{C_\mu T_T}{\sigma_k} \overline{u_l u_m} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_m} \right) \quad (8)$$

$$\frac{D \varepsilon}{Dt} = \frac{C_{\varepsilon_1} P - C_{\varepsilon_2} \varepsilon}{T_T} + \frac{\partial}{\partial x_l} \left(\frac{C_\mu}{\sigma_\varepsilon} \overline{u_l u_m} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_m} \right) + \nu \frac{\partial^2 \varepsilon}{\partial x_k \partial x_k} + C_{\varepsilon_3} \nu \frac{k}{\varepsilon} \overline{u_j u_k} \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_l} \right) \left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial x_k \partial x_l} \right) \quad (9)$$

$$\chi - L_T^2 \nabla^2 \chi = 1 / (\varepsilon T_T) \quad (10)$$

$$\Phi_{ij}^* = (1 - k\chi) \Phi_{ij}^w + k\chi \Phi_{ij}^h \quad (11)$$

$$\varepsilon_{ij} = (1 - Ak\chi) \frac{u_i u_j}{k} \varepsilon + Ak\chi \frac{2}{3} \varepsilon \delta_{ij} \quad (12)$$

$$A = 1 - \frac{9}{8} (a_{ij} a_{ij} - a_{ij} a_{jk} a_{ki}), \quad a_{ij} = \frac{u_i u_j}{k} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Phi_{ij}^h = & - \left(g_1 + g_1^* \frac{P}{\varepsilon} \right) \varepsilon b_{ij} + g_2 \varepsilon \left(b_{ik} b_{kj} - \frac{1}{3} b_{kl} b_{kl} \delta_{ij} \right) + \left(g_3 - g_3^* \sqrt{b_{kl} b_{kl}} \right) k S_{ij} + \\ & g_4 k \left(b_{ik} S_{jk} + b_{jk} S_{ik} - \frac{2}{3} b_{lm} S_{lm} \delta_{ij} \right) + g_5 k (b_{ik} \Omega_{jk} + b_{jk} \Omega_{ik}) \end{aligned} \quad (14)$$

$$b_{ij} = \frac{\overline{u_i u_j}}{2k} - \frac{1}{3} \delta_{ij}; \quad S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right); \quad \Omega_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (15)$$

$$\Phi_{ij}^w = -5 \frac{\varepsilon}{k} \left(\overline{u_i u_k n_j n_k} + \overline{u_j u_k n_i n_k} - \frac{1}{2} \overline{u_k u_l n_k n_l} (n_i n_j - \delta_{ij}) \right) \quad (16)$$

$$\bar{n} = \frac{\nabla \chi}{\|\nabla \chi\|}; \quad T_T = \max \left(\frac{k}{\varepsilon}, C_T \left(\frac{\nu}{\varepsilon} \right)^{1/2} \right); \quad L_T = C_L \max \left(\frac{k^{3/2}}{\varepsilon}, C_\eta \frac{\nu^{3/4}}{\varepsilon^{1/4}} \right) \quad (17)$$

Here P_{ij} is the intensity of the energy transfer from the average velocity to the pulsating one; $P = 0.5P_{kk}$; T_T is the turbulent time macroscale; D_{ij}^ν is the viscous diffusion; Φ_{ij}^* is the redistribution term; ε_{ij} is the dissipation; ε is the dissipation rate. The constants and functions of the system of equations (8)–(17) are taken from (Manceau & Hanjalic, 2002).

The RSM model did not have additional sink and/or source terms taking the effect of non-Newtonian fluid on carrier phase turbulence.

Boundary conditions

The flow sketch is shown in the Fig. 1. No-slip conditions are set on the wall surface for the velocity and the condition of heat transfer with the environment medium is set for the temperature of the wall (Pakhomov & Zhabbasbayev, 2024):

$$r = R; \quad U = V = k = \tilde{\varepsilon} = 0; \quad -\lambda_w \left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)_w = \alpha_1 (T_m - T_w); \quad \overline{u_i u_j} = 0; \quad \varepsilon = 2\nu \frac{k}{y^2}; \quad \chi = 0 \quad (18)$$

The symmetry conditions are set on the pipe axis for all variables:

$$r = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial r} = \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{\partial k}{\partial r} = \frac{\partial \tilde{\varepsilon}}{\partial r} = V = 0; \quad \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial r} = \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = \frac{\partial \chi}{\partial r} = 0 \quad (19)$$

In the inlet section ($x = 0$), the distributions of all variables over the pipe section were set, corresponding to the developed turbulent flow in the pipe. At the outlet edge ($x=L$) soft boundary conditions were given for all variables.

Thus, the system of equation (1)—(17) with the corresponding input and boundary conditions (18), (19) is a closed system of equations that describes the process of turbulent heat transfer in a waxy oil flow and allows the predictions of all the required quantities.

Thermal effects in rheological properties are taken into account by the dependence of viscosity $\mu(T)$ and yield stress $\tau_0(T)$ on temperature (Pakhomov & Zhabbasbayev, 2021). These dependencies are based on experimental data. In the Table 1 are given the values of the yield shear stress τ_0 , plastic viscosity μ_p , and Bingham number $Bm = \tau_0 R / (\mu_p U_{m1})$ vs fluid temperature.

Table 1
The dependence of yield shear stress, and plastic viscosity of non-Newtonian fluid

$t, ^\circ\text{C}$	T, K	τ_0, Pa	$\mu_p, \text{Pa}\cdot\text{s}$	Bingham number Bm
0	273	589.6	0.3585	822.32
5	278	34.62044	0.14634	118.29
10	283	2.03286	0.05974	17.01
15	288	0.11937	0.02438	2.45
20	293	0.00701	0.00995	0.35
25	298	4.1156E-4	0.00406	0.05
30	303	2.41662E-5	0.00166	0.007

Numerical realization

The numerical solution is obtained using a control volume method on a staggered grid. All numerical predictions are performed using the “in-house” code. The system of equations (3–5) is solved numerically using the QUICK scheme and the SIMPLEC algorithm. The simulations use a non-uniform mesh (streamwise and transverse directions) with refinement close to all walls. The cell closest to the wall is located at $yu^*/\nu_w = 0.4$, where $u_* = \sqrt{\tau_w / \rho}$ is the friction velocity of a Newtonian fluid in the inlet pipe, τ_w is the wall shear stress and ν_w is kinematic viscosity of a fluid at wall condition. The residual error for the continuity equation, momentum equations, and RSM model is 10^{-5} and for the energy equation the error is 10^{-7} .

The grid convergence test (GCT) for the radial profiles of turbulent kinetic energy (TKE) is performed on the grids: 500x40 (“coarse”), 1000x80 (“basic”) and 1500 x 120 (“fine”) (see Fig. 2).

The Reynolds and Prandtl numbers of the flow are $Re = U_1 D / \nu_{w1} = 0.82 \times 10^4$ and $Pr = \mu_{w1} C_{p1} / \lambda_1 = 42$. The difference between “basic” and “fine” grids is very small (up to 0.1%) and the grid with 1000 x 80 CVs is used in authors’ simulations as the basic grid.

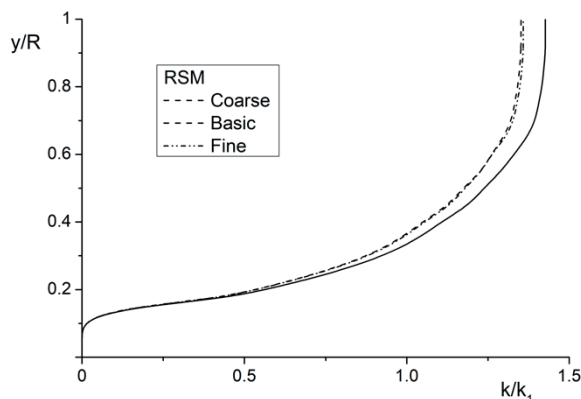


Figure 2 – The grid convergence test for RSM models of in-house numerical code:
 $L = 2$ m, $Re = 8200$, $U_1 = 0.2$ m/s, $T_1 = 298$ K, $T_w = 273$ K

Calculation results and discussion

Averaged and turbulent characteristics of the Schwedoff- Bingham fluid

The axial averaged velocity profile along the tube cross section is qualitatively similar to the one for a Newtonian fluid. This is characteristic both for the DNS data (Singh et al., 2017 a) and for our RANS calculations. For the axial averaged velocity distributions, it is possible to note an excess by RANS calculations (up to 10 %) in comparison to DNS data (Singh et al., 2017 a). The TKE distributions calculated by the author's model also agree satisfactorily with the DNS calculation both in the viscous sublayer and in the logarithmic region and the difference does not exceed 15 %. These data are given in (Pakhomov & Zhabbasbayev, 2021) and are not presented here in order to reduce the manuscript volume. However, the isotropic $k-\varepsilon$ – model (Hwang & Lin, 1998) does not even qualitatively describe the complex distribution of velocity fluctuations over the pipe cross section and significant anisotropy of axial and radial velocity fluctuations of SB fluid. This is especially noticeable in the profiles of the radial velocity fluctuation component.

For the Schwedoff-Bingham-fluid the results of the RSM model calculations of the axial $u'^+ = u' / u_*$ (a) and radial $v'^+ = v' / u_*$ (b) velocity fluctuation profiles are shown in Figure 3.

Here points are DNS (Singh et al., 2017 b), lines are RANS calculation of authors using RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002). As can be seen from the data shown in Fig. 3, the RSM model qualitatively well describes the anisotropy of the axial and radial velocity fluctuation profiles. The positions of maximum values and practically coincide with DNS data (Singh et al., 2017 b). The obtained calculation data confirm the possibility of successful use of the RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002) to describe the non-isothermal flow of the SB fluid. Further in our calculations of flow and heat transfer at transition of turbulent Newtonian fluid to non-Newtonian fluid we will use exactly RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002).

The following crucial points can be noted in conclusion to these two subsections

concerning the validation a numerical model for describing turbulent isothermal power-law and Schwedoff-Bingham fluids. The use of the isotropic $k-\varepsilon$ model (Hwang & Lin, 1998) makes it possible to predict, in the first approximation, the distributions of the averaged parameters of the turbulent flow (averaged axial velocity and TKE) of non-Newtonian fluids with a reasonable degree of accuracy. However, this model is completely unsuitable for calculating the axial and radial components of the carrier phase velocity fluctuations (up to 300 %). The use of the Reynolds stress model (second-moment closure) (Manceau & Hanjalic, 2002) in describing turbulence makes it possible to calculate the behavior of the turbulent characteristics in axial and radial directions of non-Newtonian fluids with satisfactory accuracy (up to 20 %).

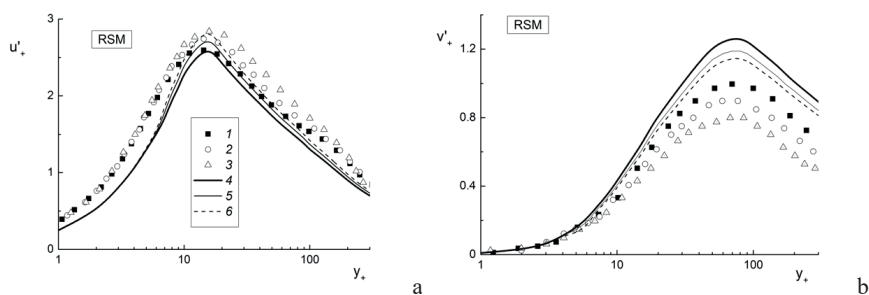


Figure 3 – Comparisons of the results of authors' RANS calculations using the RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002) of axial $u'^+ = u' / u_*$ (a) and radial $v'^+ = v' / u_*$ (b) velocity fluctuations of the Schwedoff-Bingham fluid with the DNS results (Singh et al., 2017 b): Dots are the DNS (Singh et al., 2017 b), lines are the RANS calculation by the author using the RSM model (Manceau & Hanjalic, 2002). $Re = U_{m1}D_1/v_{w1} = 1.3 \times 10^4$, $Re_\tau = u_*R_1/v_w = 323$. 1, 3 – Newtonian fluid; 2, 4 – non-Newtonian fluid; $\tau_0/\tau_w = 1.1$; 5, 6 – non-Newtonian fluid $\tau_0/\tau_w = 1.2$.

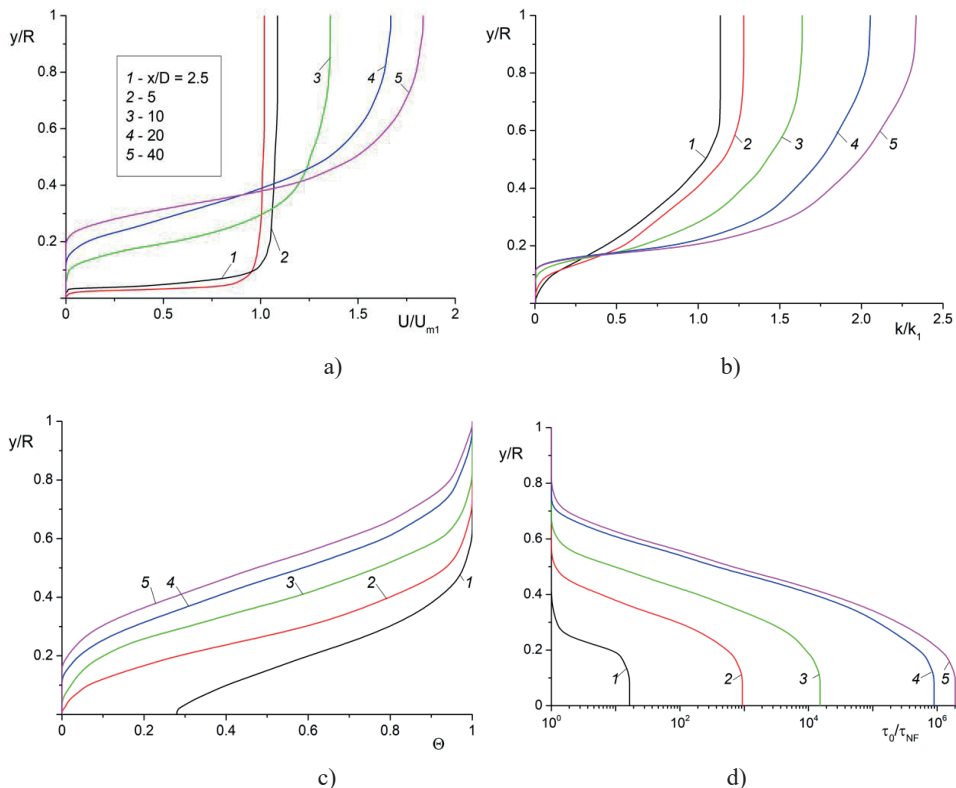
Predictions of turbulent non-isothermal flow structure

A non-isothermal waxy crude oil (WCO) flows along an underground pipe (see Fig. 1). The pipe inner diameter is $D = 2R = 0.2$ m, and length of computational domain $L = 20$ m ($x/D = 100$). Turbulent flow in the inlet cross-section considers as a Newtonian fluid. Then WCO cools down by flowing along the pipe length due to heat transfer through pipe wall with cold soil. The Reynolds and Prandtl numbers of the flow are $Re = U_{m1}D/v_{w1} = (0.4-1.2) \times 10^4$ and $Pr = \mu_{w1}C_{p1}/\lambda_1 = 42$. The Reynolds number has the same form as for a generalized Newtonian fluid. It based on the fluid viscosity determined under wall conditions and the viscosity is depends on the fluid temperature. Studies are carried out with a steady flow of fluid in the pipe.

Results of calculations of non-isothermal motion in the pipe show change of state of Schwedoff-Bingham fluid (paraffinic oil). Newtonian properties of liquid in initial sections of pipe gradually change to viscoplastic (non-Newtonian) state due to heat transfer between heated liquid in pipe through its wall and cold environment. In process of movement along the pipe the value of longitudinal velocity in zone

near axis increases (up to 1.7 times in comparison with entrance velocity level), and in the wall zone on the contrary decreases and height of section with zero value of liquid velocity increases (see Fig. 4a). Height of the section with zero liquid velocity in the pipe gradually increases as the oil moves along the pipe and reaches $y/R \approx 0.15$ at $x/D = 20$. The core area with maximum liquid velocity gradually decreases to $y/R \approx 0.9$ at $x/D = 20$.

There is a significant increase of turbulent kinetic energy in the near-wall area of the pipe (more than 1.75 times) and a noticeable decrease in the near-wall area (see Fig. 4b). For the axisymmetric flow, TKE is determined by the well-known equation: $2k \approx \langle u'^2 \rangle + 2\langle v'^2 \rangle$. The boundary of the region of Newtonian fluid properties has been determined. Profiles of evolution of dimensionless temperature $\Theta = (T - T_{w1}) / (T_1 - T_{w1})$ of liquid show cooling of paraffinic oil flow due to heat exchange with environment through the pipe wall (see Fig. 4c). Here T_{w1} is the wall temperature at the inlet section.



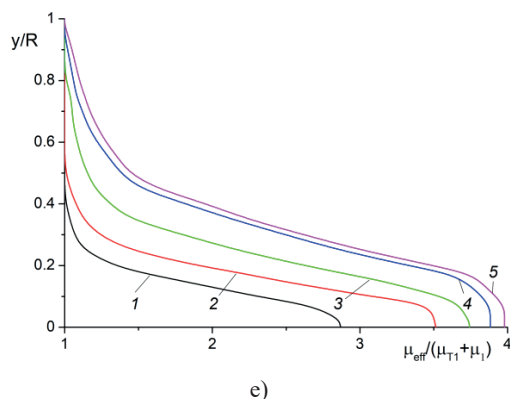


Figure 4 – Distributions of the dimensionless average axial velocity U/U_{m1} (a), turbulent kinetic energy k/k_1 (b), average temperature Θ (c) and yield shear stress τ_0/τ_{NF} (d) and averaged effective dynamic viscosity (e). $Re = 8200$, $T_1 = 298$ K, $T_s = 273$ K

Yield stress profiles $\tau_0/\tau_{0,1}$ are shown in Figure 4d, where $\tau_{0,1}$ is the yield stress at $T = 293$ K. The radial profiles of average dynamic viscosity coefficient distributions $\mu_{eff}/(\mu_{T1} + \mu)$ along the pipe length are given in Figure 4e. Here μ_{eff} is the effective averaged viscosity of the turbulent NNF and $(\mu_{T1} + \mu_1)$ is the sum of turbulent and molecular viscosities of the NF (waxy crude oil) at the inlet. This ratio is clearly showing the effect of appearance of non-Newtonian behavior of the fluid movement. The decrease in the fluid temperature in the near-wall zone by turbulent Newtonian fluid cooling causes significant increase in the value of average dynamic viscosity coefficient of the fluid.

It is known (Zhapbasbayev et al., 2021) that at fluid temperature $T \leq 293$ K, non-Newtonian fluid properties begin to appear and limit shear stress τ_0 arises. This leads to a sharp increase in mean dynamic viscosity and ultimate shear stress and leads to a decrease in the speed of waxy oil and even to a complete stop. It can be noted that the temperature, average dynamic viscosity and ultimate shear stress profiles evolution along the pipe length show that at temperature $T \geq 293$ K paraffinic oil has a Newtonian fluid property, whereas in the temperature region $T < 293$ K the properties of viscoplastic (non-Newtonian) Schwedoff-Bingham- fluid appear.

Earlier in works (Pakhomov & Zhapbasbayev, 2021; Pakhomov et al., 2023; Pakhomov & Zhapbasbayev, 2024) it was shown that heat transfer of moving liquid flow in pipe or channel and surrounding ground has the main influence on manifestation of non-Newtonian properties of SB liquid. The results of numerical calculations for the influence of the ambient ground temperature T_s on the turbulent characteristics of paraffinic oil are shown in Figure 5. For a Newtonian fluid, flow and heat transfer calculations were performed for paraffinic oil without taking into account the non-Newtonian properties at $T_s = 298$ K. Note that for the Newtonian fluid our numerical calculations are in good agreement with the known DNS calculations (Singh et al., 2017 a). These data are not shown in these figures.

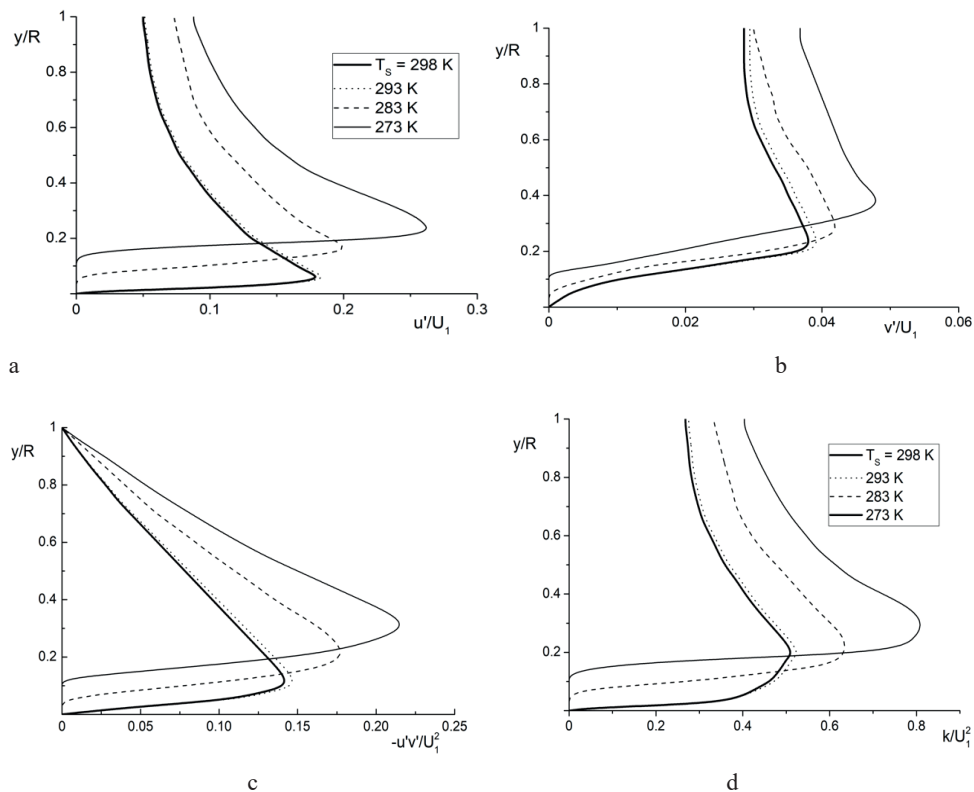


Figure 5 – Effect of soil temperature T_s on the profiles of axial u'/U_1 (a), radial v'/U_1 (b) turbulent fluctuations, Reynolds stresses $u'v'/U_1^2$ (c) and turbulence kinetic energy k/U_1^2 (d): $Re = 8200, x/D = 20, T_1 = 298$ K

The lowering of the ambient ground temperature causes additional generation of turbulence in the near-wall zone of the pipe and its significant suppression in the wall part of the pipe (see Fig. 5). This is consistent with the data shown in Fig. 4. At the same time there is a shift of position point of turbulent pulsation level maximum, Reynolds stress and TKE towards the pipe axis. In Newtonian liquid it is located $y/R \approx 0.1$ for axial fluctuations, Reynolds stress and TKE (see Fig. 5). For a liquid with manifestation of non-Newtonian properties and ultimate shear stress ($T_s = 273$ K), the maximum is located at ($y/R \approx 0.23$). Also significant turbulence anisotropy is visible and the ratio of axial velocity fluctuations to radial fluctuations is $(u'/v')_{\max} \approx 5.3$ (see Fig. 5).

Heat transfer between of waxy crude oil (paraffinic oil) with the cold environment leads to the decrease in the temperature of the carrier fluid. It causes an increase in plastic viscosity, and the appearance of a yield stress in the near-wall zone of the pipe. The values of plastic viscosity and yield stress in in the near-wall region become larger for the colder carrier fluid. As the temperature decreases, the near-wall zone of the viscoplastic fluid expands, covering more and more parts of the

Newtonian fluid. The velocity of the carrier fluid slows down and loses their fluidity at high values of the yield stress in the near-wall zone. The decrease in the fluid temperature leads to crystallization of the wax, and the release of the heat of the phase transition. Figures 4, 5 clearly demonstrate the occurrence of a stagnation zone and the viscoplastic state of the fluid, and also illustrate the transition of paraffinic oil from the Newtonian state to the viscoplastic non-Newtonian Schvedoff-Bingham-state due to heat transfer with the cold environment.

Conclusion

A numerical study of the motion and heat transfer of a turbulent non-isothermal Schvedoff -Bingham fluid through a pipe wall with a cold environment has been carried out. Dependences of viscosity and ultimate shear stress on temperature were determined experimentally. The calculated data show the transition of an incompressible Newtonian fluid to a non-Newtonian (viscoplastic) state.

Calculation results for transition of turbulent Newtonian fluid to viscoplastic state are in satisfactory agreement with DNS data of other works for Schvedoff-Bingham fluid. A better agreement with the DNS calculations on the distribution of turbulent non-Newtonian flow characteristics is obtained by including additional runoff and source terms in the transfer equations for the averaged and turbulent flow characteristics. In the logarithmic layer velocity profile for the Schvedoff-Bingham fluid is qualitatively similar to that for the Newtonian fluid.

One of the significant results is an increase of turbulent kinetic energy in the flow core and damping in the zone of yield strength manifestation. The calculated data of the turbulent stress model qualitatively describes the anisotropy of the axial and radial velocity fluctuations well. The locations of maximum values of axial and radial velocity fluctuations are in agreement with the DNS data of other authors.

REFERENCES

- Behnia M., Parniex S., Shabany Y. & Durbin P. (1999). Numerical study of turbulent heat transfer in confined and unconfined impinging jets. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, — 20(1), — 1–9. — [https://doi.org/10.1016/S0142-727X\(98\)10040-1](https://doi.org/10.1016/S0142-727X(98)10040-1)
- Durbin P.A. (1991). Near-wall turbulence closure modeling without “damping functions”. *Theoretical and Computational Fluid Dynamics*, — 3, — 1–13. — <https://doi.org/10.1007/BF00271513>
- Durbin P.A. (1993). Application of a near-wall turbulence model to boundary layers and heat transfer. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, —14, — 316–323. — [https://doi.org/10.1016/0142-727X\(93\)90004-7](https://doi.org/10.1016/0142-727X(93)90004-7)
- Fadai-Ghotbi A., Manceau R. & Boree J. (2008). Revisiting urans computations of the backward-facing step flow using second moment closures. Influence of the Numerics. *Flow, Turbulence and Combustion*, — 81, — 395–414. — <https://doi.org/10.1007/s10494-008-9140-8>
- Finho F.T. (2003). A GNF framework for turbulent flow models of drag reducing fluids and proposal for a k-e type closure. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*, — 114 (2-3), — 149–184. — [https://doi.org/10.1016/S0377-0257\(03\)00120-4](https://doi.org/10.1016/S0377-0257(03)00120-4)
- Gavrilov A.A. & Rudyak V.Y. (2016 a). Direct numerical simulation of the turbulent flows of power-law fluids in a circular pipe. *Thermophysics and Aeromechanics*, — 23(4), — 473–486. — <https://doi.org/10.1134/S0869864316040016>
- Gavrilov A.A. & Rudyak V.Y. (2016 b). Reynolds-averaged modeling of turbulent flows of

power-law fluids, *Journal of Non-Newtonian. Fluid Mechanics*, — 227, — 45–55. — <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2015.11.006>

Gnambode P.S., Orlandi P., Ould-Rouiss M. & Nicolas X. (2015). Large-Eddy simulation of turbulent pipe flow of power-law fluids. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, — 54, — 196–210. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2015.05.004>

Hwang C.B. & Lin C.A. (1998). Improved low-Reynolds-number $k-\mathcal{E}$ – model based on direct simulation data. *AIChE Journal*, — 36(1), — 38–43. — <http://dx.doi.org/10.2514/2.349>

Kays M. (1994). Turbulent Prandtl Number – Where We Are? *ASME Journal of Heat and Mass Transfer*, — 116(2), — 284–295 <https://doi.org/10.1115/1.2911398>

Manceau R. & Hanjalic K. (2002). Elliptic blending model: a new near-wall Reynolds-stress turbulence closure. *Physics of Fluids*, — 14(2), — 744–754. <https://doi.org/10.1063/1.1432693>

Manceau R. & Hanjalic K. (2000). A new form of the elliptic relaxation to account for wall effects in RANS modeling. *Physics of Fluids*, — 12(9), — 2345–2451. <https://doi.org/10.1063/1.1287517>

Masoudian M., Pinho F.T., Kim K. & Sureshkumar R. (2016). A RANS model for heat transfer reduction in viscoelastic turbulent flow. *International. Journal of Heat and Mass Transfer*, — 100, — 332–346. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.04.053>

Masoumi H., Aghighi M.S. & Ammar A. (2019). Laminar natural convection of yield stress fluids in annular spaces between concentric cylinders. *International. Journal of Heat and Mass Transfer*, — 138, — 1188–1198. — <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.04.092>

Pakhomov M.A. & Zhabbasbayev U.K. (2021). RANS modeling of turbulent flow and heat transfer of non-Newtonian viscoplastic fluid in a pipe. *Case Studies of Thermal Engineering*, — 28 (2), — 101455. — <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2021.101455>

Pakhomov M.A., Zhabbasbayev U.K. & Bossinov D.Zh. (2023). Numerical simulation of the transition of a Newtonian to a viscoplastic state in a turbulent flow. *Journal of King Saud University – Science*, — 35(2), — 102522. — <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24062>

Pakhomov M.A. & Zhabbasbayev U.K. (2024). Comparative predictions of turbulent non-isothermal flow of a viscoplastic fluid with yield stress. *Heliyon*, — 10, — e24062. — <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24062>

Papanastasiou T.C. (1987). Flows of materials with yield. *Journal of Rheology*, — 31(5), — 385–404

Rudman M., Blackburn H.M., Graham L.J.W. & Pullum L. (2004). Turbulent pipe flow of shear-thinning fluids. *Journal of Non-Newtonian. Fluid Mechanics*, — 118(1), — 33–48. — <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2004.02.006>

Rudman M. & Blackburn H.M. (2006). Direct numerical simulation of turbulent non-Newtonian flow using a spectral element method. *Applied Mathematical Modelling*, — 30, — 1229–1248. — <https://doi.org/10.1016/j.apm.2006.03.005>

Singh J., Rudman M. & Blackburn H.M. (2017 a). The influence of shear-dependent rheology on turbulent pipe flow. *Journal of Fluid Mechanics*, — 822, — 848–879. — doi:10.1017/jfm.2017.296

Singh J., Rudman M. & Blackburn H.M. (2017 b). The effect of yield stress on pipe flow turbulence for generalised Newtonian fluids. *Journal of Non-Newtonian. Fluid Mechanics*, — 249, — 53–62. — <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2017.09.007>

Thielen L., Hanjalic K., Jonker H.J.J. & Manceau R. (2005). Predictions of flow and heat transfer in multiple impinging jets with an elliptic-blending second-moment closure. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, — 48 (8), — 1583–1598. — <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2004.10.025>

Vinay G., Wachs A. & Agassant J.-A. (2005). Numerical simulation of non-isothermal viscoplastic waxy crude oil flows. *Journal of Non-Newtonian. Fluid Mechanics*, — 128(2-3): — 144–62. — <https://doi.org/10.1016/j.jnnfm.2005.04.005>

Yigit S., Hasslberger J., Chakraborty N. & Klein M. (2020). Effects of Rayleigh-Bénard convection on spectra of viscoplastic fluids. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, — 147, — 118947. — <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118947>

Zhabbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Bossinov D.Zh. & Kenzhaliyev B.K. (2021). Flow and heat exchange calculation of waxy oil in the industrial pipeline. *Case Studies of Thermal Engineering*, — 26, — 101007. — <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101007>



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

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

ХИМИЯ

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

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

ХИМИЯ

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

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

CONTENTS
PHYSICAL

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

CHEMISTRY

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

A.T. Takibayeva, O.V. Demets, A.A. Zhorabek, A. Karilkhan, D.A. Rajabova SYNTHESIS AND RESEARCH OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES OF LUPAN TRITERPENOIDS.....	244
B.R. Taussarova, M.Sh. Suleimenova, Zh.E. Shaikhova, S.O. Abilkasova, L.M. Kalimoldina STUDY OF PROPERTIES OF CELLULOSE TEXTILE MATERIALS BASED ON COPPER NANOPARTICLES.....	259
B.Kh. Khussain, A.R. Brodskiy, A.S. Sass, I.I. Torlopov, K.R. Rakhmetova PRELIMINARY TREATMENT OF THERMAL DEVICES' EMISSIONS IN DECARBONIZATION TECHNOLOGY.....	271
AKISHEV BAYAN RAKISHEVICH (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). 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 60x88¹/₈. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 1.