

ISSN 2518-1726 (Online),
ISSN 1991-346X (Print)

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің

Х А Б А Р Л А Р Ы

ИЗВЕСТИЯ

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Қазақстан Республикасының Ғылым
Академиясының Әл-Фараби атындағы
Қазақ ұлттық университетінің

NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
Al-Farabi Kazakh
National University

SERIES
PHYSICO-MATHEMATICAL

3 (337)

MAY – JUNE 2021

PUBLISHED SINCE JANUARY 1963

PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

ALMATY, NAS RK

NAS RK is pleased to announce that News of NAS RK. Series physico-mathematical journal has been accepted for indexing in the Emerging Sources Citation Index, a new edition of Web of Science. Content in this index is under consideration by Clarivate Analytics to be accepted in the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index, and the Arts & Humanities Citation Index. The quality and depth of content Web of Science offers to researchers, authors, publishers, and institutions sets it apart from other research databases. The inclusion of News of NAS RK. Series of chemistry and technologies in the Emerging Sources Citation Index demonstrates our dedication to providing the most relevant and influential content of chemical sciences to our community.

Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясы «ҚР ҰҒА Хабарлары. Физикалық-математикалық сериясы» ғылыми журналының Web of Science-тің жаңаланған нұсқасы Emerging Sources Citation Index-те индекстелуге қабылданғанын хабарлайды. Бұл индекстелу барысында Clarivate Analytics компаниясы журналды одан әрі the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index және the Arts & Humanities Citation Index-ке қабылдау мәселесін қарастыруда. Web of Science зерттеушілер, авторлар, баспашылар мен мекемелерге контент тереңдігі мен сапасын ұсынады. ҚР ҰҒА Хабарлары. Химия және технология сериясы Emerging Sources Citation Index-ке енуі біздің қоғамдастық үшін ең өзекті және беделді химиялық ғылымдар бойынша контентке адалдығымызды білдіреді.

НАНПК сообщает, что научный журнал «Известия НАНПК. Серия физико-математическая» был принят для индексирования в Emerging Sources Citation Index, обновленной версии Web of Science. Содержание в этом индексировании находится в стадии рассмотрения компанией Clarivate Analytics для дальнейшего принятия журнала в the Science Citation Index Expanded, the Social Sciences Citation Index и the Arts & Humanities Citation Index. Web of Science предлагает качество и глубину контента для исследователей, авторов, издателей и учреждений. Включение Известия НАНПК в Emerging Sources Citation Index демонстрирует нашу приверженность к наиболее актуальному и влиятельному контенту по химическим наукам для нашего сообщества.

Бас редактор:

МҰТАНОВ Ғалымқайыр Мұтанұлы, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының м.а. (Алматы, Қазақстан) Н-5

Редакция алқасы:

ҚАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәділұлы (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, ҚР БҒМ ҒК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институты» бас директорының кеңесшісі, зертхана меңгерушісі (Алматы, Қазақстан) Н-7

БАЙГУНЧЕКОВ Жұмаділ Жаңабайұлы (бас редактордың орынбасары), техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Кибернетика және ақпараттық технологиялар институты, Сатпаев университетінің Қолданбалы механика және инженерлік графика кафедрасы, (Алматы, Қазақстан) Н-3

ВОЙЧИК Вальдемар, техника ғылымдарының докторы (физика), Люблин технологиялық университетінің профессоры (Люблин, Польша) Н=23

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

ЖҮСПОВ 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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, техника ғылымдарының докторы, профессор, Беларусь ҰҒА академигі (Минск, Беларусь) Н-2

РАМАЗАНОВ Тілекқабұл Сәбитұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің ғылыми-инновациялық қызмет жөніндегі проректоры, (Алматы, Қазақстан) Н-26

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

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

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, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан) Н – 12

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

«ҚР ҰҒА Хабарлары. Физика-математикалық сериясы».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (Print)

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» РҚБ (Алматы қ.).

Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 14.02.2018 ж. берілген № 16906-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *физика-математика ғылымдары және ақпараттық техникалар саласындағы басым ғылыми зерттеулерді жариялау.*

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 300

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., тел.: 272-13-19, 272-13-18
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2021

Типографияның мекен-жайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Главный редактор:

МУТАНОВ Галимкаир Мутанович, доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, и.о. генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК (Алматы, Казахстан) Н - 5

Редакционная коллегия:

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, советник генерального директора «Института информационных и вычислительных технологий» КН МОН РК, заведующий лабораторией (Алматы, Казахстан) Н - 7

БАЙГУНЧЕКОВ Жумадил Жанабаевич, (заместитель главного редактора), доктор технических наук, профессор, академик НАН РК, Институт кибернетики и информационных технологий, кафедра прикладной механики и инженерной графики, университет Сатпаева (Алматы, Казахстан) Н - 3

ВОЙЧИК Вальдемар, доктор технических наук (физ.-мат.), профессор Люблинского технологического университета (Люблин, Польша) Н=23

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

QUEVEDO Nemando, 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

МИХАЛЕВИЧ Александр Александрович, доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси (Минск, Беларусь) Н - 2

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, проректор по научно-инновационной деятельности, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан) Н – 26

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

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

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

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

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

«Известия НАН РК. Серия физика-математическая».

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (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 № 16906-Ж выданное 14.02.2018 г.

Тематическая направленность: *публикация статей по геологии и техническим наукам.*

Периодичность: 6 раз в год.

Тираж: 300

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, оф. 219, тел.: 272-13-19, 272-13-18

<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2021

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75.

Editor in chief

MUTANOV Galimkair Mutanovich, doctor of technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, acting director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK (Almaty, Kazakhstan) H - 5

Editorial board:

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich (Deputy Editor-in-Chief), doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Advisor to the General Director of the Institute of Information and Computing Technologies of SC MES RK, Head of the Laboratory (Almaty, Kazakhstan) H - 7

BAYGUNCHEKOV Zhumadil Zhanabayevich, (Deputy Editor-in-Chief), doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS RK, Institute of Cybernetics and Information Technologies, Department of Applied Mechanics and Engineering Graphics, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan) H - 3

WOICIK Waldemar, Doctor of Phys.-Math. Sciences, Professor, Lublin University of Technology (Lublin, Poland) H=23

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

MIKHALEVICH Alexander Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NAS of Belarus (Minsk, Belarus) H - 2

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Vice-Rector for Scientific and Innovative Activity, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H – 26

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

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

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, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan) H - 12

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

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

Physical-mathematical series.

ISSN 2518-1726 (Online),

ISSN 2224-346X (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. 16906-Ж, issued 14.02.2018

Thematic scope: *publication of papers on geology and technical sciences.*

Periodicity: 6 times a year.

Circulation: 300

*Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,
<http://www.physico-mathematical.kz/index.php/en/>*

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2021

Address of printing house: ST «Aruna», 75, Muratbayev str, Almaty.

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 3, Number 337 (2021), 58 – 64

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.47>

UDC 622.276.72

Ф.Б. Исмайлова, Г.Г. Исмайлов, С.Г. Новрузова

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

E-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

**ОБ УЧЕТЕ РЕЛАКСАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МУЛЬТИФАЗНЫХ СИСТЕМ
ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ТРУБОПРОВОДОВ**

Аннотация. Исследованиями в модели трубопровода (длиной 3,5 м и диаметром 0,016 м) было установлено, что при перекачке высоковязких, парафинистых нефтей с добавками керосина в стационарных расходных характеристиках при концентрации керосина выше 30% происходит искривление в зависимости $Q = f(\Delta P)$, что может служить признаком возможного нарушения гидравлической устойчивости потока.

Анализы показали, что на основе критерия Рейнольдса как для вязких, так и вязко-пластичных моделей не удается установить нарушения ламинарного режима, т.е. потери устойчивости стационарного потока.

Реологические исследования показали, что отмеченные системы характеризуются релаксационными, т.е. вязко-упругими свойствами. Так, данные ротавискозиметрических исследований, результаты которых были обработаны согласно методике Кросса позволили установить наличие линейной вязкоупругости в этих системах, что подтверждается строгой линейностью зависимостей в координатах $\frac{1}{\eta^2} = f(\tau^2)$. Такая интерпретация в случае линейной

вязкоупругости позволила определить параметр времени релаксации (θ), который для системы с содержанием растворителя 36, 43, 54, 66 и 72% составил соответственно 0,074; 0,061; 0,050; 0,041 и 0,029 с.

В статье сделана попытка на основе анализа существенных экспериментальных данных обобщить результаты исследований гидравлических характеристик реологических сложных жидкостей, описываемых максвелловской вязкоупругой моделью.

Предложен диагностический критерий для учета релаксационных свойств перекачиваемых мультифазных систем при гидравлическом расчете трубопроводов.

Ключевые слова: гидравлический расчет, релаксация, реология, стационарная характеристика, параметр Рейнольдса, режимы движения, растворитель.

Введение. Анализ фактических данных и процессов, происходящих при сборе и транспорте продукции скважин, показывает, что эффективность принятых мер и решений, в большинстве случаев, требует необходимого учета релаксационных свойств транспортируемых систем. Как показывают результаты исследований [1-6], этими свойствами обладают также водонефтяные эмульсии и высоковязкие нефти с добавками ПАВ (поверхностно-активных веществ) и различных растворителей [7,8]. Эти свойства перекачиваемых жидкостей оказывают существенное влияние не только на нестационарные, но и на стационарные характеристики эксплуатируемых трубопроводов.

Режим работы трубопроводов при перекачке вышеотмеченных систем, как правило, выбирается из гидравлического расчета вязких или вязко-пластичных жидкостей, т.е. без учета релаксационных свойств потоков. При этом сравнение параметров, рассчитанных на основе

существующих зависимостей коэффициентов гидравлического сопротивления с характеристиками действующего трубопровода, показывает их значительные расхождения. Повышение эффективности технологии транспорта указанных реологических сложных систем, обладающих вязкоупругими свойствами, требует нахождения критерия, позволяющего более надежно проводить гидравлические расчеты и устанавливать область перехода от ламинарного режима к турбулентному.

Методы исследования. С целью анализа влияния релаксационных свойств перекачиваемых систем на гидравлическую расходную характеристику трубопровода были использованы результаты лабораторных исследований [9] по изучению стационарных течений в модели трубопровода высокопарафинистых нефтей с различными добавками растворителя-керосина (рис.1). Как видно из рис.1, при содержании керосина 36, 43, 54, 66 и 72% происходит искривление в зависимости расхода (Q) от перепада давления (ΔP).

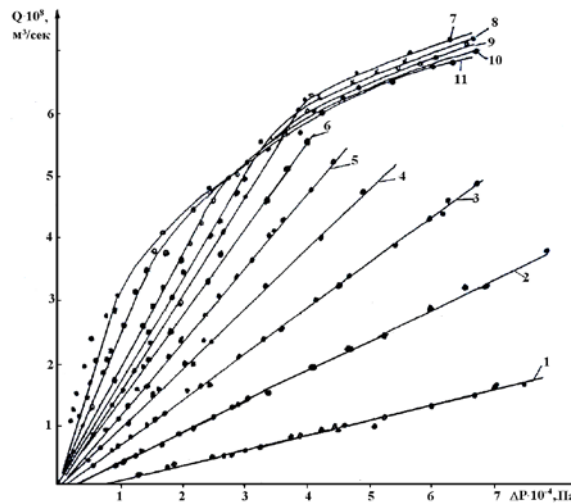


Рис.1. Зависимость $Q = f(\Delta P)$

1÷11 – соответственно при содержании растворителя 0; 6; 12; 18; 24; 30; 36; 43; 54; 66 и 72%

Проведенные нами ротавискозиметрические исследования в нефтях с отмеченными содержаниями керосина проявляются релаксационные линейно вязко-упругие свойства. Наличие вязко-упругости в этих системах была установлена строгой линейностью зависимостей $\frac{1}{\eta^2} = f(\tau^2)$ (согласно интерпретации Кросса) (рис.2).

Далее сделана попытка обобщить результаты исследований гидравлических характеристик сложных мультифазных систем, описываемых в частности вязкоупругой моделью максвелловского типа.

Как известно, при сдвиговой деформации в вязкоупругих системах вместе с касательными напряжениями развиваются также нормальные напряжения и истинная вязкость системы с учетом первой разности нормальных напряжений согласно [3, 10] определяется по формуле:

$$\eta_{\tau} = \eta_{\infty} \left[1 + \frac{\tau^2}{4G^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

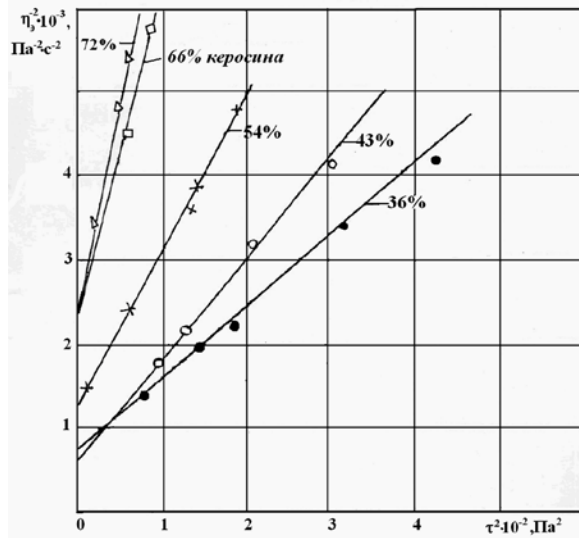


Рис.2 – Графические зависимости $\eta^{-2} = f(\tau^2)$

Для линейно вязкоупругих жидкостей, типа максвелловской возможно определение времени релаксации (θ) и первой разности нормальных напряжений (σ) системы, соответственно, как $\frac{\eta}{G}$ и $\frac{\tau^2}{G}$.

Формулу (1) можно представить также в виде:

$$\dot{\gamma} = -\frac{dv}{dr} = \frac{\tau}{\eta_{\tau}} \left[1 + \frac{\tau^2}{4G^2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

Интегрируя (2) с учетом $\tau = \frac{\Delta P r}{2l}$ и $W = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{\int_0^R v 2\pi r dr}{\pi R^2}$ для определения средней скорости потока жидкости (W), получим:

$$W = \frac{\Delta P R^2}{8l\eta} + \frac{4}{3} \left[\frac{\Delta P R^2}{8l\eta} \right]^3 \cdot \frac{\theta^2}{R^2} \quad (3)$$

После некоторых преобразований и с учетом выражений $\tau = \frac{\Delta P r}{2l}$ и $\dot{\gamma} = \frac{4W}{R}$ можно получить:

$$\dot{\gamma} = \frac{\tau}{\eta} \left[1 + \frac{\theta^2}{12} \left(\frac{\tau}{\eta} \right)^2 \right] \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) является реологическим уравнением, описывающим вязкоупругие жидкости. С целью исследования гидравлических характеристик вязкоупругих систем необходимо преобразовать (4) как функцию напряжения сдвига от градиента скорости. Однако решение (4) относительно τ приводит к сложному выражению, использование которого затрудняет проведение необходимых инженерных расчетов. Поэтому для упрощения уравнения (4) целесообразно применять следующий подход. В формуле (4) второй член, выражающий отношение напряжения

сдвига к вязкости, заменяется градиентом сдвига для вязких жидкостей, т.е. $\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^2 \approx \dot{\gamma}^2$. Тогда, с учетом сказанного, уравнение (4) получит следующий вид:

$$\tau = \frac{\dot{\gamma}\eta}{1 + \frac{\theta^2}{12}\dot{\gamma}^2} \quad (5)$$

Анализ формулы (5) и сравнение ее с формулой (4) показали правомерность использования формулы (5) для практических расчетов при $\theta\dot{\gamma}^2 \ll 1$. Используя значения напряжения и градиента сдвига для круглой цилиндрической трубы, выражение (5) можно записать в следующем виде:

$$\frac{\Delta PR}{2l} = \frac{\frac{4W\eta}{R}}{1 + \frac{\theta^2}{12}\left(\frac{4W}{R}\right)^2} = \frac{\frac{4W\eta}{R}}{1 + \frac{4}{3}\left(\frac{\theta W}{R}\right)^2}$$

После некоторых преобразованиях можно записать:

$$\Delta P = \frac{64}{\frac{WD\rho}{\eta} \left[1 + \frac{\theta^2}{12}\left(\frac{4W}{R}\right)^2\right]} \cdot \frac{W^2 \rho l}{2D} \quad (6)$$

Сравнивая выражение (6) с формулой Дарси-Вейсбаха для коэффициента гидравлического сопротивления [10] в ламинарной области течения, получим:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}^*}; \quad \text{Re}^* = \frac{WD\rho}{\eta} \left[1 + \frac{4}{3}\left(\frac{W\theta}{R}\right)^2\right] \quad (7)$$

где Re^* – обобщенный параметр Рейнольдса для релаксационной жидкости.

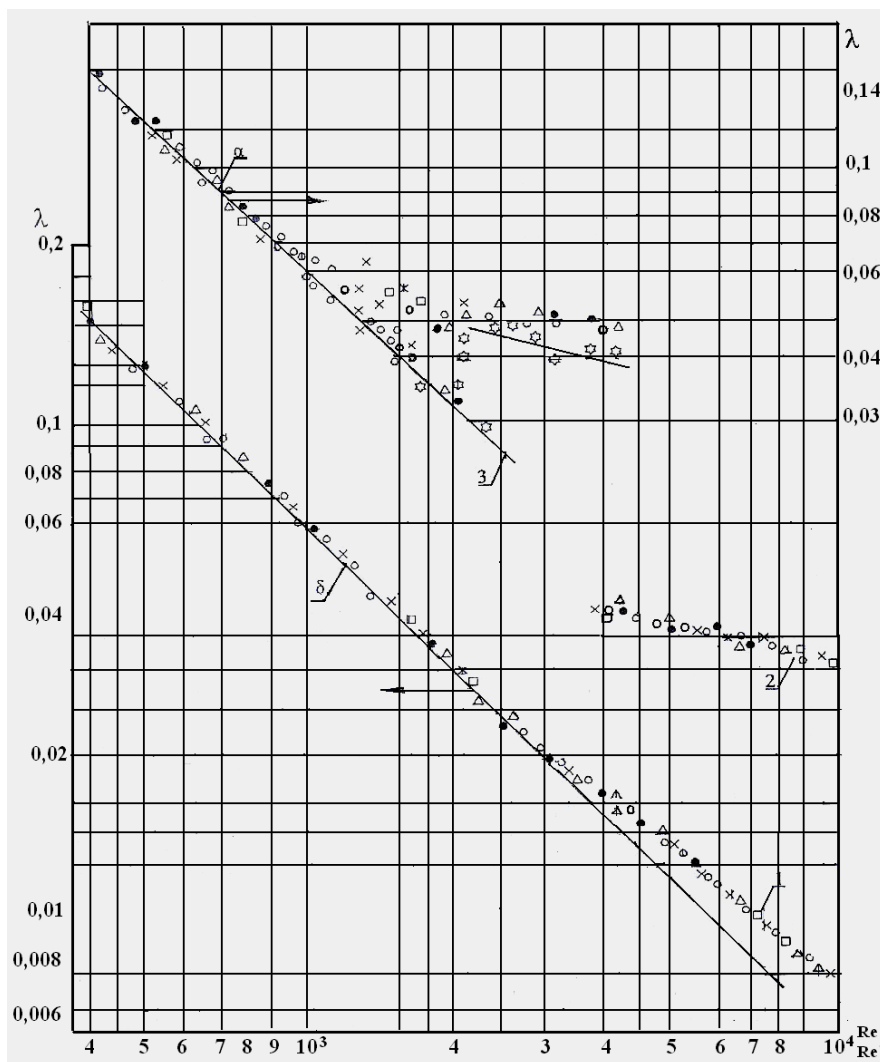
Результаты обработки экспериментальных данных по формуле (7) представлены на рис.3, линия δ . Как видно из рисунка, с учетом релаксационных свойств (время релаксации), обобщенный параметр Рейнольдса Re^* позволяет установить область нарушения ламинарного режима (потеря устойчивости потока) при течении вязкоупругих жидкостей. Кроме того, установлено, что для всех испытываемых жидкостей нарушение происходит при параметрах Re^* , равных приблизительно 3200.

Были оценены значения коэффициента λ и для турбулентной зоны движения согласно формуле Блазиуса с учетом обобщенного параметра Рейнольдса для исследуемых жидкостей. Как видно из рисунка 3, расчетные точки хорошо аппроксимируются прямой 2.

В отличие от обобщенного Рейнольдса путем использования параметра Рейнольдса для вязких жидкостей была получена зависимость $\lambda = \lambda(\text{Re})$ в ламинарной области потока (рис.3, линия 3). Из рисунка следует, что согласно вязкой модели в гидравлических характеристиках испытуемых нефтей не происходит нарушений, и режим движения можно оценить как чисто ламинарный.

Применение параметра Рейнольдса, согласно вязко-пластичной модели [2-10], позволило установить, что растворитель, в частности керосин, является добавкой, приводящей к ранней турбулизации потока гетерогенных нефтей. При этом, нарушение ламинарного режима в указанных системах, как показал анализ полученных данных (рис.3, линия δ), происходит при различных числах Рейнольдса, несколько меньших критических.

Можно сделать вывод, что проведенные анализы на основе параметра Рейнольдса как для вязких, так и вязко-пластичных моделей не позволяют диагностировать нарушения ламинарного режима движения (нарушение устойчивости потока) для исследуемых релаксационных нефтей.



Содержание растворителя, в %

• 36; 0,43; x54; o66; Δ 72; * без растворителя

Рис.3. Зависимость λ от числа Рейнольдса.

Выводы.

Для повышения эффективности технологии транспорта реологических сложных систем, обладающих релаксационными свойствами предложен обобщенный параметр Рейнольдса, позволяющий более надежно проводить гидравлические расчеты и устанавливать область перехода от ламинарного режима к турбулентному.

В результате исследований показана правомерность применения обобщенного параметра Рейнольдса Re^* в случае перекачки реологических сложных нефтей, обладающих релаксационными свойствами для описания, λ как в ламинарной, так и в турбулентной областях потока.

Ф.Б. Исмайлова, Г.Г. Исмайлов, С.Г. Новрузова
Әзірбайжан мемлекеттік Мұнай және өнеркәсіп университеті
E-mail: sudaba.novruzova@mail.ru

**ҚҰБЫРЛАРДЫ ГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЕСЕПТЕУ КЕЗІНДЕ МУЛЬТИФАЗАЛЫҚ
ЖҮЙЕЛЕРДІҢ РЕЛАКСАЦИЯ ҚАСИЕТТЕРІН ЕСЕПКЕ АЛУ**

F.B. Ismayilova, G.G. Ismayilov, S.G. Novruzova
Azerbaijan State Oil and Industry University

**TAKING INTO ACCOUNT THE RELAXATION PROPERTIES OF MULTIPHASE
SYSTEMS IN THE HYDRAULIC CALCULATION OF PIPELINES**

Abstract. While carrying out researches in a pipeline model (3.5 m length and 0.016 m in diameter) it has been found that in the dependence $Q = f(\Delta P)$ a bending, which can serve as a sign of a possible failure of hydraulic flow stability, occurs in stationary flow characteristics at a kerosene concentration above 30% when pumping high-viscosity, paraffinic oils with kerosene additives.

The analyzes have shown that on the basis of the Reynolds criterion for both viscous and viscoelastic models, it is not possible to determine violations of the laminar regime, i.e. loss of stability of a stationary flow.

Rheological studies have shown that the noted systems are characterized by relaxation, i.e. viscoelastic properties. Thus, the data of viscosimetric studies, the results of which have been processed according to the Cross method, made it possible to determine the availability of linear viscoelasticity in these systems confirmed by the strict linearity of the dependences in the coordinates $\frac{1}{\eta^2} = f(\tau^2)$. This interpretation in

the case of linear viscoelasticity made it possible to determine the relaxation time parameter (θ), which for a system with a solvent content of 36, 43, 54, 66 and 72% was 0.074, respectively; 0.061; 0.050; 0.041 and 0.029 s.

The article makes an attempt to generalize the results of studies of the hydraulic characteristics of rheological complex fluids described by the Maxwellian viscoelastic model based on the analysis of significant experimental data.

A diagnostic criterion has been proposed in the hydraulic calculation of pipelines for taking into account the relaxation properties of pumped multiphase systems.

Key words: hydraulic calculation, relaxation, rheology, stationary characteristic, Reynolds parameter, modes of motion, solvent.

Information about authors:

Ismayilova Fidan, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan, e-mail:fidan.ismayilova.2014@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5849-2488>

Ismayilov Gafar, Professor of the Department of Oil Transport and Storage, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan, e-mail:asi_zum@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8725-4788>

Novruzova Sudaba, PhD, Associate Professor, Department of Oil and Gas Engineering, Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, Azerbaijan, e-mail:sudaba.novruzova@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2219-3371>

Литература.

- [1]. Мирзаджанзаде А.Х., Магсудов Ф.Г., Нигматулин Р.И. и др. (1985). Теория и практика использования неравновесных систем в нефтедобыче, Баку, Эльм, 220 с.
- [2]. Мирзаджанзаде А.Х., Велиев Ф.Г. (1986) Реофизические проблемы добычи нефти и газа, Баку, Азинефтехим, 20 с.
- [3]. Девликамов В.В., Хабибуллин В.А., Кабиров М.М. (1975) Аномальные нефти, М., Недра, 168 с.
- [4]. Сатаров Р.М., Исмаилов Г.Г., Рафибейли Н.С. (1987) Исследование гидравлических характеристик вязкоупругих жидкостей. Тезисы докладов X школы семинара по проблемам трубопроводного транспорта, Уфа, с. 15-16.
- [5]. Козлобородов А.Н. (2007) Сток нелинейной вязкоупругой жидкости по боковой поверхности кругового цилиндра. Вестник Томского политехнического университета, т. 310, вып. 1, стр. 182–185
- [6]. Саттаров Р.М. (1982) Научные основы диагностики и определения свойств сложных реологических систем, используемых при добыче нефти и газа с целью повышения эффективности технологических процессов, Дисс. Доктор технических наук, Баку, 339 с.
- [7]. Келбалиев Г.И., Расулов С.Р. и другие. (2017) Механика и реология нефтяных дисперсных систем. М., Маска, 462 с.
- [8]. Матвиенко В.И., Кирсанов С.В. (2011) Вязкость и структура дисперсных систем., Вестник Московского университета, сер. Химия, т. 2, № 1, с. 243
- [9]. Сааде М. (1985) Исследование влияния релаксационных свойств вязкоупругих масел на гидравлические характеристики потока. Баку, стр.27-29
- [10]. Мукук К.В. (1980) Элементы гидравлики релаксирующих аномальных систем. Ташкент, ФАН, 109 стр.
- [11]. Новрузова С.Г., Кадашова Е.В. Возможность использования вихревого эжектора для сбора и сепарации газа. НОВОСТИ Академии наук Республики Казахстан, СЕРИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК, Том 5, номер 443 (2020), стр. 150-155 <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.115>

References

- [1]. Mirzadzhanzade A.Kh., Magsudov F.G., Nigmatulin R.I. et al. (1985). Theory and practice of using non-equilibrium systems in oil production, Baku, Elm, 220 pp.
- [2]. Mirzajanzade A.Kh., Veliev F.G. (1986) Rheophysical problems of oil and gas production, Baku, Azineftekhim, 20 pp.
- [3]. Devlikamov V.V., Khabibullin V.A., Kabirov M.M. (1975) Anomalous oils, M., Nedra, 168 p.
- [4]. Satarov R.M., Ismayilov G.G., Rafibeyli N.S. (1987) Study of the hydraulic characteristics of viscoelastic fluids. Abstracts of the X school of the seminar on the problems of pipeline transport, Ufa, pp. 15-16
- [5]. Kozloborodov A.N. (2007) Runoff of a nonlinear viscoelastic fluid over the lateral surface of a circular cylinder. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, v. 310, no. 1, p. 182-185
- [6]. Sattarov R.M. (1982) Scientific bases of diagnostics and determination of properties, rheological complex systems used in oil and gas production in order to increase the efficiency of technological processes, Diss. Doctor of Technical Sciences, Baku, 339 p.
- [7]. Kelbaliev G.I., Rasulov S.R. et al. (2017) Mechanics and rheology of petroleum dispersed systems. M., Mask, 462 p.
- [8]. Matvienko V.I., Kirsanov S.V. (2011) Viscosity and structure of dispersed systems., Bulletin of the Moscow University, ser. Chemistry, vol. 2, No. 1, p. 243
- [9]. Saadeh M. (1985) Investigation of the influence of the relaxation properties of viscoelastic oils on the hydraulic characteristics of the flow. Baku, p.27-29
- [10]. Mukuk K.V. (1980) Elements of hydraulics of relaxing anomalous systems. Tashkent, FAN, 109 p.
- [11]. S. G. Novruzova, E. V. Qadashova. Possibility of vortex separation ejector application in the collection and separation of gas. NEWS of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES, Volume 5, Number 443 (2020), pp. 150-155 <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.115>

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

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

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

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

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

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

(Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайтах:

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

<http://physics-mathematics.kz/index.php/en/archive>

ISSN 2518-1726 (Online), ISSN 1991-346X (Print)

Редакторы: *М.С. Ахметова, Р.Ж. Мрзабаева, Д.С. Аленов*
Верстка на компьютере *В.С. Зикирбаева*

Подписано в печать 12.06.2021.
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.
11 п.л. Тираж 300. Заказ 3.