

УДК 547.912, <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-2.07>

ВЛИЯНИЕ ПОДКАЧИВАЕМЫХ НЕФТЕЙ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА «БУЗАЧИНСКОЙ» НЕФТЕСМЕСИ И ЕЕ ПЕРЕКАЧКУ ПО МАГИСТРАЛЬНОМУ НЕФТЕПРОВОДУ «УЗЕНЬ-АТЫРАУ-САМАРА»



Б.К. САХОВ,
кандидат технических наук,
заместитель директора
департамента инновационно-
технического развития
АО «КазТрансОйл»
<https://orcid.org/0000-0001-9475-1478>



О. Б. ИСМУРЗИН,
заместитель начальника
Атырауского нефтепроводного
управления АО «КазТрансОйл»,
<https://orcid.org/0000-0002-1246-6735>



Г.А. ГАБСАТТАРОВА,
кандидат химических наук,
руководитель лаборатории
исследований нефти и
нефтепродуктов филиала
«Центр исследований и
разработок АО «КазТрансОйл»,
<https://orcid.org/0000-0002-0858-1511>



Д. Н. БЕЛОГЛАЗОВ,
ведущий специалист
по энергоменеджменту
Атырауского нефтепроводного
управления АО «КазТрансОйл»,
<https://orcid.org/0000-0001-6655-3044>



К. И. ТОГАСHEВА,
ведущий специалист по
НИОКР и НТД Атырауского
нефтепроводного управления
АО «КазТрансОйл»,
<https://orcid.org/0000-0002-5530-8892>

А.Г. ДИДУХ, кандидат химических наук, заместитель директора филиала «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», <https://orcid.org/0000-0003-4393-6274>;
Ж.К. НАУРУЗБЕКОВ*, научный сотрудник лаборатории исследований нефти и нефтепродуктов филиала «Центр исследований и разработок АО «КазТрансОйл», <https://orcid.org/0000-0002-3606-8627>

Влияние подкачиваемых нефтей на реологические свойства «бузачинской» нефтесмеси и её перекачку по магистральному нефтепроводу «Узень-Атырау-Самара».

Представлены результаты исследований влияния подкачиваемых нефтей различных месторождений на реологические свойства «бузачинской» нефтесмеси. Проведен анализ физико-химических и реологических свойств исследуемых нефтей. Показано, что среди всех подкачиваемых нефтей негативное влияние на реологические параметры «бузачинской» нефтесмеси оказывает добавление высокозастывающей «мангышлакской» смеси. На основании полученных данных сделано заключение, что регулирование объемов подкачек нефти является одним из важных направлений регулирования холодо-текучих свойств нефтесмеси и оптимизации режимов её транспортировки.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: магистральный нефтепровод, «бузачинская» нефтесмесь, подкачки нефти, реологические характеристики, технология перекачки.

АЙДАЛАТЫН МҰНАЙДЫҢ «БОЗАШЫ» МҰНАЙ ҚОСПАСЫНЫҢ РЕОЛОГИЯЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ЖӘНЕ ОНЫҢ «ӨЗЕН-АТЫРАУ-САМАРА» МАГИСТРАЛЬДЫҚ МҰНАЙ ҚҰБЫРЫ АРҚЫЛЫ АЙДАУЫНА ӘСЕРІ

Б.К. САЯХОВ, техника ғылымдарының кандидаты, «КазТрансОйл» АҚ инновациялық-техникалық даму департаменті директорының орынбасары, <https://orcid.org/0000-0001-9475-1478>;

О.Б. ИСМУРЗИН, «КазТрансОйл» АҚ Атырау мұнай құбыры басқармасы бастығының орынбасары, <https://orcid.org/0000-0002-1246-6735>;

Г.А. ГАБСАТТАРОВА, химия ғылымдарының кандидаты, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы мұнай және мұнай өнімдерін зерттеу зертханасының басшысы, <https://orcid.org/0000-0002-0858-1511>;

Д.Н. БЕЛОГЛАЗОВ, «КазТрансОйл» АҚ Атырау мұнай құбыры басқармасының энергоменеджмент жөніндегі жетекші маманы, <https://orcid.org/0000-0001-6655-3044>;

К.И. ТОГАШЕВА, «КазТрансОйл» АҚ Атырау мұнай құбыры басқармасының ҒЗТҚЖ және НТҚ жөніндегі жетекші маманы, <https://orcid.org/0000-0002-5530-8892>;

А.Г. ДИДУХ, химия ғылымдарының кандидаты, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер және әзірлемелер орталығы» филиалы директорының орынбасары, <https://orcid.org/0000-0003-4393-6274>;

Ж.К. НАУРУЗБЕКОВ*, «КазТрансОйл» АҚ зерттеулер мен әзірлемелер орталығы» филиалы мұнай және мұнай өнімдерін зерттеу зертханасының ғылыми қызметкері, <https://orcid.org/0000-0002-3606-8627>

Бұл мақалада әр түрлі кен орындарындағы айдалатын мұнайдың «Бозашы» мұнай қоспасының реологиялық қасиеттеріне әсері зерттелген. Зерттелетін мұнайдың физика-химиялық және реологиялық қасиеттеріне талдау жасалды. Барлық айдалатын мұнай арасында «Бозашы» мұнай қоспасының реологиялық параметрлеріне биіктікте қататын «Маңғышлақ» қоспасын қосу теріс әсер бергені көрсетілген. Алынған мәліметтер негізінде мұнай айдаудың көлемін реттеу арқылы мұнай қоспасының суық-ағындық қасиеттерін реттеуге болатындығы және оны тасымалдау режимдерін оңтайландырудың маңызды бағыттарының бірі болатындығы туралы қорытынды жасалды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: магистральдық мұнай құбыры, «Бозашы» мұнай қоспасы, мұнай айдау, реологиялық сипаттамалары, қайта айдау технологиясы.

* Адрес для переписки. E-mail: znauruzbekov@rds.kaztransoil.kz

INFLUENCE OF PUMPED OILS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF «BUZACHI» OIL MIXTURE AND ITS PUMPING THROUGH THE «UZEN-ATYRAU-SAMARA» MAIN OIL PIPELINE

B.K. SAYAKHOV, Candidate of Technical Sciences, Deputy Director of the Department of Innovative and Technical Development of KazTransOil JSC, <https://orcid.org/0000-0001-9475-1478>;

O.B. ISMURZIN, Deputy Head of the Atyrau Oil Pipeline Department of KazTransOil JSC, <https://orcid.org/0000-0002-1246-6735>;

G.A. GABSATTAROVA, Candidate of Chemical Sciences, Head of the laboratory for research of oil and oil products of the branch "Research and Development center of KazTransOil JSC", <https://orcid.org/0000-0002-0858-1511>;

D.N. BELOGLAZOV, Leading specialist in energy management of the Atyrau oil pipeline department of KazTransOil JSC, <https://orcid.org/0000-0001-6655-3044>;

K.I. TOGASHEVA, Leading specialist in R&D and NTD of the Atyrau oil pipeline department of KazTransOil JSC, <https://orcid.org/0000-0002-5530-8892>;

A.G. DIDUKH, Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director of the branch "Research and Development center of KazTransOil JSC", <https://orcid.org/0000-0003-4393-6274>;

ZH.K. NAURUZBEKOV*, Researcher of the laboratory for research of oil and oil products of the branch "Research and Development center of KazTransOil JSC", <https://orcid.org/0000-0002-3606-8627>

This article investigates the effect of pumped oils from various fields on the rheological properties of the "Buzachi" oil mixture. The analysis of the physicochemical and rheological properties of the studied oils is carried out. It is shown that among all pumped oils, the addition of a highly solidifying "Mangyshlak" mixture has a negative effect on the rheological parameters of the "Buzachi" oil mixture. Based on the data obtained, it was concluded that the regulation of the volumes of oil pumping is one of the important directions of regulation of the cold-flow properties of the oil mixture and the optimization of the modes of its transportation.

KEY WORDS: main oil pipeline, "Buzachi" oil mixture, oil pumping, rheological characteristics, pumping technology

Как известно, перекачиваемая по магистральному нефтепроводу «Узень-Атырау-Самара» «бузачинская» нефтесмесь формируется из нефтей Бузачинского полуострова (преимущественно высокосмолистой нефти месторождения Каламкас и высоковязкой «тяжелой» нефти месторождения Каражанбас), а также нефти Северные Бузачи [1-3].

При этом «бузачинская» нефтесмесь на входе НПС «Жетыбай», отличаясь высоким содержанием смол, закономерно имеет низкую температуру потери текучести и высокие значения плотности (таблица 1). Следует отметить, что в данной смеси присутствует также нефть с месторождения Дунга и слив с НСЭ ГНПС «Актау».

Далее, по мере перекачки «бузачинской» нефтесмеси на участке «Узень-Атырау» магистрального нефтепровода «Узень-Атырау-Самара» в данную нефтесмесь подкачиваются как парафинистые высокозастывающие нефти месторождений Узень и Жетыбай

Таблица 1 – Физико-химические свойства и компонентный состав «бузачинской» нефтесмеси

Тпт, °С	Плотность при 20°, г/см ³	Парафины, %	Асфальтены, %	Смолы, %	Сера, %
-30	0,901-0,905	3,46	3,1	13,2	1,52
Тпт – температура потери текучести					

Таблица 2 – Реологические параметры «бузачинской» нефтесмеси (на входе НПС «Жетыбай») при температуре 15 - -5°C

t, °C	τ , Па (D=5c ⁻¹)	η , Па·с (D=5c ⁻¹)	τ , Па (D=10 c ⁻¹)	η , Па·с (D=10 c ⁻¹)	τ_0 , Па	Kтек, Па·с
15	0,945	0,189	1,89	0,189	0	0,189
10	1,39	0,278	2,78	0,278	0	0,278
5	2,363	0,473	4,61	0,461	0,267	0,441
0	3,954	0,791	7,738	0,774	0,641	0,729
-5	7,437	1,49	14,32	1,43	2,811	1,229

t – напряжение сдвига; h – пластическая вязкость; t₀ – предельное напряжение сдвига; K_{ТЕК} – коэффициент текучести по Бингаму

(так называемая «мангышлакская» смесь), так и другие нефти месторождений п-ва Мангышлак, а также сернистые низкозастывающие нефти месторождений Эмбинского и Прорвинского регионов – в целом имеется около восьми подкачек нефти с месторождений. Далее подкачиваются нефти группы атырауских месторождений [4].

Изучение влияния подкачек на текучесть общей нефтесмеси является важным и актуальным вопросом при проведении работ по оптимизации технологий и подбору режимов перекачки нефти, что и обусловило проведение исследований, описываемых в настоящей статье. Исследования проведены с использованием стандартных методик.

Температуру потери текучести определяли на установке «S.D.M.– 530» (Германия), снабженной тремя камерами для поддержания температур 0, -17 и -34°, согласно СТ РК АСТМ Д 5853-2010.

Плотность нефти определяли с помощью нефтяных ареометров в термостатируемых цилиндрах для измерения плотности Technoglass (Голландия) в соответствии с ГОСТ 3900-85.

Выделение парафинов, асфальтенов и смол из нефти проводили по методикам ГОСТ 11851-85.

Содержание общей серы определяли на рентгено-флуоресцентном анализаторе Спектроскан S (Россия), согласно СТ РК ГОСТ Р ЕН ИСО 14596-2010.

Реологические исследования проведены с применением ротационного реометра фирмы «Brookfield» модель «RST» (Великобритания) с использованием термостатируемой цилиндрической измерительной системы МК-СС45 (MS-CC45) типа «цилиндр-цилиндр» и измерительного цилиндрического элемента МВ-СС 45 (МВ-СС 48). Контроль параметров (температура, скорость сдвига, частота измерений) осуществлялся специализированной компьютерной программой RHEO 3000. Измерения кажущейся (или эффективной) вязкости и напряжения сдвига проводили в режиме линейного изменения скорости сдвига (от 0 до 100 с-1) при постоянной температуре. Динамическое предельное напряжение сдвига и коэффициент текучести рассчитывались также специализированной компьютерной программой RHEO 2000 по уравнению Бингама-Шведова:

$$\tau = \tau_0 + D \times \eta$$

Физико-химические и реологические свойства нефтей, подкачиваемых в «бузачинскую» нефтесмесь в ходе транспортировки по магистральному нефтепроводу «Узень-Атырау-Самара», представлены в *таблице 3* и на *рисунке 1* (а-б).

Таблица 3 – Физико-химические свойства и компонентный состав подкачиваемых нефтей

Наименование	Тпт, °С	Плотность при 20 °С, кг/м ³	Содержание парафина, %	Содержание серы, %
Мангышлакская смесь (нефти м/р Узень и Жетыбай)	+33	844,5	17,5	0,12
подкачка 1	+21	805,7	10,5	0,03
подкачка 2	+30	855,1	15,5	0,13
подкачка 3	-12	743,2	8,3	0,02
подкачка 4	+24	813,9	22,2	0,03
подкачка 5	+21	808,2	19,6	0,03
подкачка 6	<-27	866,1	1,6	0,98
подкачка 7	-15	814,7	4,8	0,25
подкачка 8	<-27	879,6	2,8	0,25
Подкачка атырауских месторождений	-21	866,4	4,4	0,30

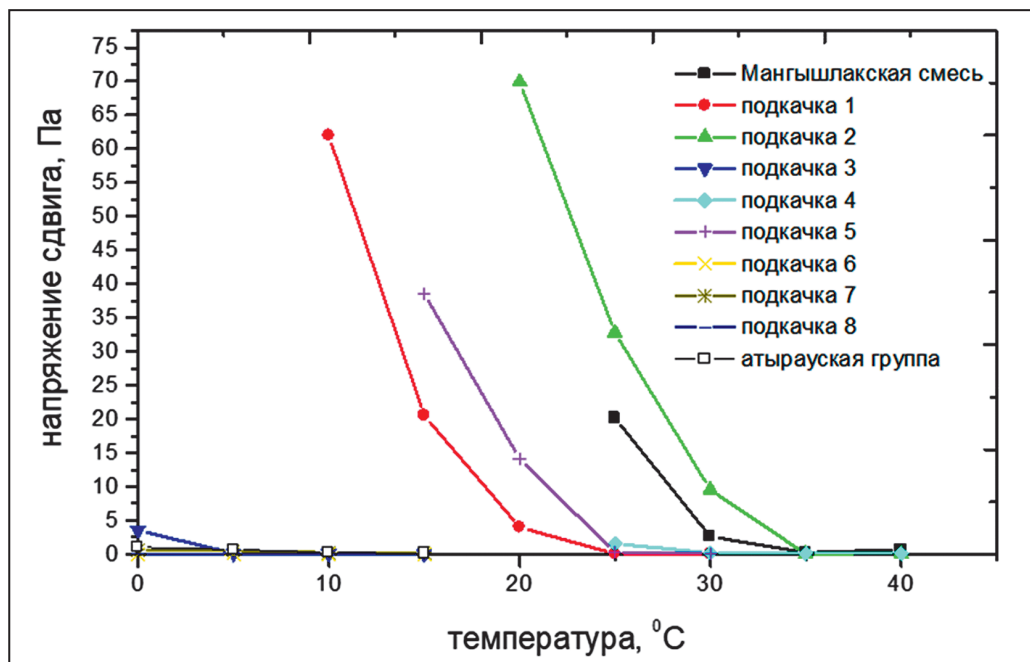


Рисунок 1 – График температурной зависимости напряжения сдвига подкачиваемых нефтей (измерены при скорости сдвига 5 с⁻¹)

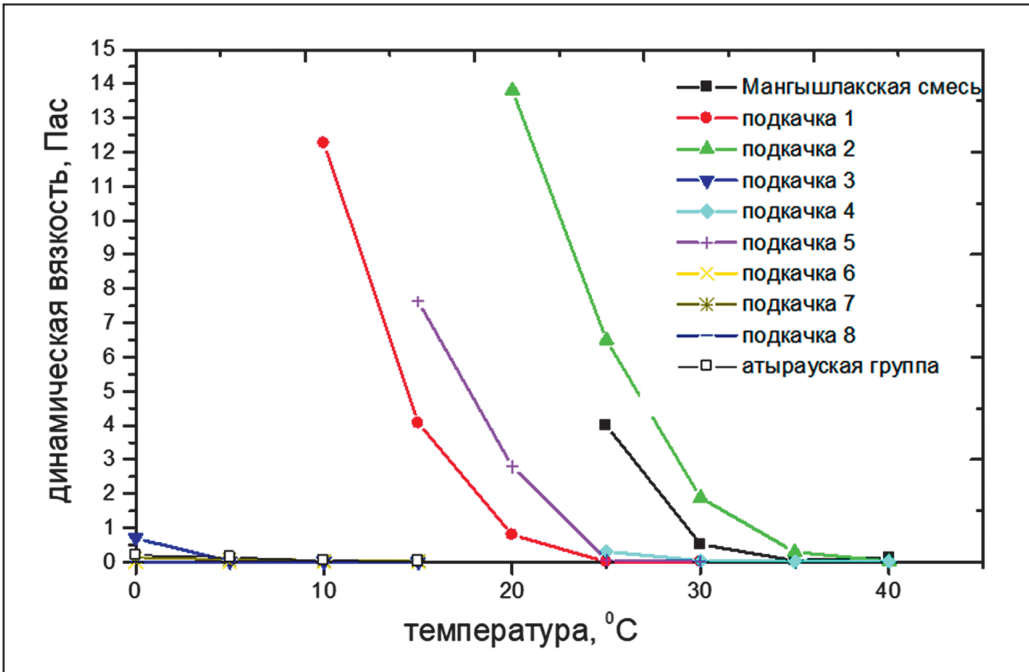


Рисунок 2 – График температурной зависимости динамической вязкости подкачиваемых нефтей (измерены при скорости сдвига 5 с⁻¹)

Как видно из *таблицы 3* и *рисунков 1-2*, подкачиваемые нефти различаются по свойствам и будут по-разному влиять на реологические параметры «бузачинской» смеси по мере её транспортировки по магистральному трубопроводу.

Характер такого влияния наглядно отображен на *рисунках 3-5*, где представлены результаты исследования влияния как фактически подкачиваемого объема нефти, так и модельного состава (в случае добавления мангышлакской смеси и нефти группы атырауских месторождений) нефтесмеси. При моделировании смешивали «бузачинскую» нефтесмесь с «мангышлакской» смесью в соотношении ~ 50:50, и впоследствии в сформированную нефтесмесь добавляли ~ 4% смеси нефтей группы атырауских месторождений.

Из графиков *рисунков 3-5* видно, что подкачка нефтей (основная доля которых отличается небольшим содержанием парафинов и смол, но встречаются и парафинистые высокозастывающие нефти) приводит к повышению температуры потери текучести «бузачинской» нефтесмеси с -30 до -15/-9°C. При этом в ряде случаев происходит небольшое снижение вязкости и повышение напряжения сдвига. Это обусловлено «эффектом разбавления» смолистой «бузачинской» нефтесмеси.

Однако наибольшее негативное воздействие на реологические свойства «бузачинской» нефтесмеси будет проявляться только в случае её смешения с высокозастывающей парафинистой «мангышлакской» смесью. Так на *рисунке 3* видно, что температура потери текучести при этом повышается до +15°C. Наряду с этим происходит значительное повышение реологических параметров (*рисунки 4-5*). При

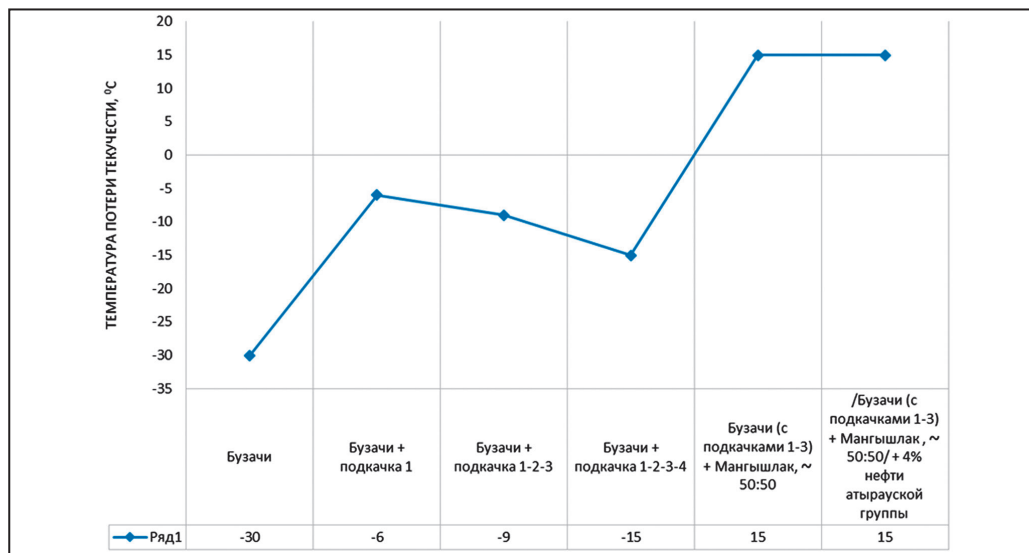


Рисунок 3 – Изменение температуры потери текучести «бузачинской» нефтесмеси после подкачек нефти различных месторождений

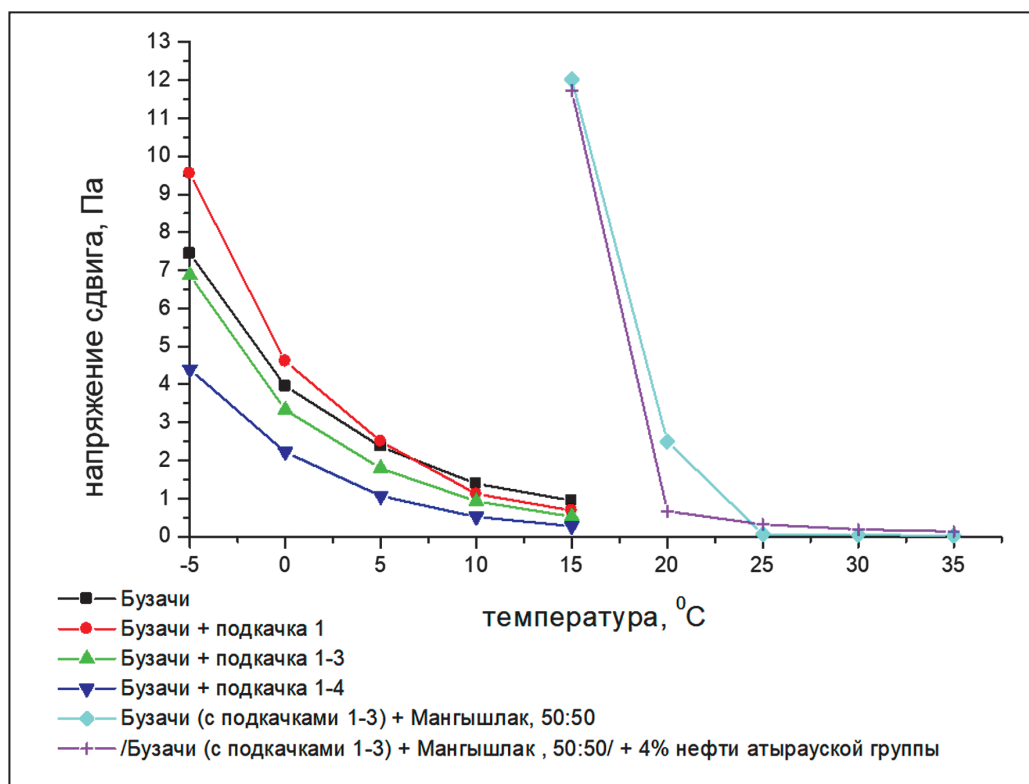


Рисунок 4 – Изменение графика температурной зависимости напряжения сдвига «бузачинской» нефтесмеси после подкачек нефти различных месторождений (измерены при скорости сдвига 5 с⁻¹)

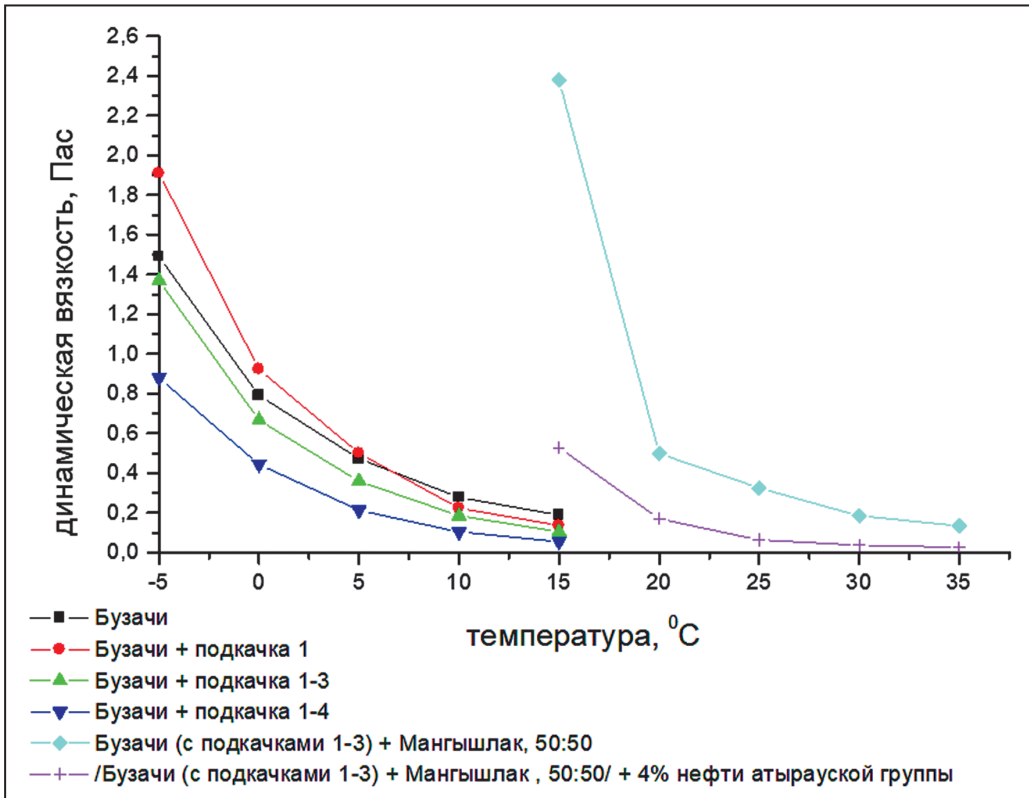



Рисунок 5 – Изменение графика температурной зависимости динамической вязкости «бузачинской» нефтесмеси после подкачек нефти различных месторождений (измерены при скорости сдвига 5 с⁻¹)

этом добавление малопарафинистой нефти группы атырауских месторождений не оказывает «эффекта разбавления».

Тепло-гидравлические расчеты режимов транспортировки таких высокозастывающих нефтесмесей на участке «НПС им. Т.Касымова - НПС Большой Чаган» МН «Узень-Атырау-Самара», проведенные на специализированном программном обеспечении «SmartTran» (позволяет также рассчитывать оптимальный энергопотребляющий режим работы магистрального нефтепровода) показали, что перекачка возможна только с использованием путевого подогрева нефти. Основным фактором при этом является отсутствие возможности безопасной остановки нефтепровода на 72 часа (в случае аварийных ситуаций/ремонтных работ) и его последующей безопасной перекачки.

Таким образом, в работе показано, что среди всех подкачиваемых нефтей, негативное влияние (в сторону увеличения значений) на реологические параметры «бузачинской» нефтесмеси будет оказывать добавление высокозастывающей «мангышлакской» смеси. Поэтому регулирование объемов подкачиваемой нефти является одним из важных направлений регулирования холодо-текучих свойств нефтесмеси и оптимизации режимов её транспортировки. В случае невозможности изменения

состава перекачиваемой нефтесмеси (в сторону снижения количества парафинистой составляющей) может потребоваться изменение технологических условий перекачки в таких направлениях, как увеличение давления на промежуточных станциях либо подключение дополнительных пунктов подогрева и др. Изучение данных направлений будет являться предметом дальнейших исследований. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Надиров Н.К. Высоковязкие нефти и природные битумы. Алматы: 2001. Т. 1-5. [Nadirov N.K. High-viscosity oils and natural bitumens. 2001. Т. 1-5.]
- 2 Надиров Н.К., Тугунов П.И., Брот Р.А., Уразгалиев Б.У. Трубопроводный транспорт вязких нефтей. Новые нефти Казахстана и их использование. Алма-Ата: 1985. 264 с. [Nadirov N.K., Tugunov P.I., Brot R.A., Urazgaliev B.U. Pipeline transport of viscous oil. Series New oils of Kazakhstan and their use. 1985. p. 264.]
- 3 Акжигитов А.Ш. Проблемы текучести высокозастывающих нефтей. Нефть и газ. 2002;1:121-125. [Akzhigitov A.Sh. Problems of fluidity of highly solidified oils. Oil and Gas. 2002;1:121-125.]
- 4 Махмотов Е.С., Сигитов В. Б., Боранбаева Л. Е., Дидух А.Г., Алексеев С. Г. Нефтесмеси, транспортируемые по магистральным нефтепроводам АО «КазТрансОйл». Алматы: Жибек Жолы, 2009. 629 с. [Makhmotov E.S., Sigitov V.B., Boranbayeva L.E., Didukh A.G., Alekseev S.G. Oil mixtures transported through the main oil pipelines of KazTransOil JSC, Almaty: Zhybek zholy, 2009, p.629]