

УДК 622.692.4

Исследование влияния противотурбулентных присадок на гидравлическое сопротивление нефтепродуктопровода

В.Я. Грудз^а, Р.С. Аль-Дандал^б

Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, ул. Карпатская 15, Ивано-Франковск, Украина

^аsrgg@mail.ru, ^бraedrich@mail.ru

Статья поступила 28.06.2015, принята 22.08.2015

Рассматривается применение высокомолекулярных полимеров в качестве противотурбулентных присадок при транспортировании светлых нефтепродуктов по трубопроводам. Предлагается использовать для уменьшения гидравлических потерь напора небольшие дозы полиакриламида и карбоксиметилцеллюлозы. Приводятся описание лабораторной установки, методики проведения опытов и их результаты. Учитывая потерю эффективности присадки при прохождении смеси через насос, при проектировании установки решено отказаться от использования насосов и осуществлять регулирование расхода изменением давления над поверхностью нефтепродукта в раздаточном резервуаре. Для измерения расхода жидкости использован объемный метод с применением фотоэлектрической системы фиксации времени. На основании полученных результатов сделаны выводы о целесообразности использования указанных полимеров в качестве противотурбулентных присадок при перекачке дизельного топлива и керосина. Дана оценка снижения гидравлического сопротивления нефтепровода при транспортировке смеси в зависимости от концентрации высокомолекулярного полимера в нефтепродукте. Показаны зависимости эффективности применения противотурбулентных присадок с целью снижения гидравлического сопротивления нефтепродуктопровода от критерия Рейнольдса и концентрации присадки в нефтепродукте. В результате сделаны выводы о целесообразности использования при транспортировании нефтепродуктов высокомолекулярных полимеров — полиакриламида и карбоксиметилцеллюлозы в качестве противотурбулентных присадок с целью снижения гидравлического сопротивления нефтепродуктопроводов. Проведенные серии лабораторных исследований смесей указанных компонентов при различных режимах перекачки и разных концентрациях позволили разработать рекомендации по выбору типа и концентрации присадок в зависимости от режима течения нефтепродукта, что обеспечивает существенное сокращение расхода электроэнергии при транспортировании светлых нефтепродуктов по магистральным нефтепродуктопроводам либо повышает их пропускную способность.

Ключевые слова: противотурбулентная присадка; полиакриламид; карбоксиметилцеллюлоза; число Рейнольдса; концентрация; эффективность.

Research of the influence of antiturbulent additives on hydraulic resistance of the oil product pipelines

V. Ya. Grudz^а, R.S. Al-Dandal^б

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas; 15, Karpatskaya St., Ivano-Frankivsk, Ukraine

^аsrgg@mail.ru, ^бraedrich@mail.ru

Received 28.06.2015, accepted 22.08.2015

The article deals with application of high molecular polymers as turbulent reducing additives when transporting light oil products through pipelines. It is suggested to use the small doses of polyacrylamide and carboxymethyl cellulose to reduce hydraulic head losses. A description of the laboratory setting, a test technique and some experimental results have been given. By taking into account the loss of efficiency for additives, when transporting the mixture through a pump, it has been decided to refuse to use the pumps and to realize the regulation of expenses by changing the pressure of oil product above the surface in a distributing reservoir when designing the setting. To measure liquid consumption, a volume method has been used with the photo-electric system of fixing time involved. Conclusions have been done based on the results obtained about profitability of using these polymers as turbulent reducing additives when pumping diesel fuel and kerosene. Estimation has been given for declining of hydraulic resistance of oil pipeline when transporting the mixture depending on the concentration of high molecular polymer in an oil product. Dependences have been shown for efficiency use of turbulent reducing additives to reduce the hydraulic resistance of oil product pipelines from the Reynolds criterion and concentration of additive in an oil product. As a result conclusions have been done based on the results obtained about profitability of using high molecular polymers – polyacrylamide and carboxymethyl cellulose – as turbulent reducing additives reducing hydraulic resistance of oil pipelines when transporting oil products. The laboratory research at various pumping modes and concentrations of the mixtures of the components mentioned above have been allowed elaborating recommendations on selecting the type and concentration of additives depending on the flow mode of oil product. It ensures the reduction of electric power consumption when transporting light oil products through the main oil pipelines or allows increasing their transportation capacity.

Key words: turbulent reducing additives; polyacrylamide; carboxymethyl cellulose; Reynolds number; concentration; efficiency.

Введение. Эффект снижения гидравлического сопротивления нефтепродуктопровода при турбулентном течении нефтепродукта путем введения в поток раствора высокомолекулярных полимеров, известный как эффект Б.А. Томса [1], позволяет существенно повысить производительность трубопроводного транспорта и поэтому привлекает внимание исследователей. Установлено, что при введении противотурбулентной присадки (ПТП) в поток уменьшаются гидравлическое сопротивление и удельные затраты мощности на перекачку, отмечено, что при увеличении скорости потока жидкости в трубопроводе эффективность действия ПТП повышается. В качестве противотурбулентных присадок в последнее время наибольшее применение получили ПТП марок CDR-102 и Liquid Power™ фирмы «Conoco» (США), FLO-XL фирмы «Baker Pipeline Products», Necadd-547 фирмы «Fortum Oil & Gas Oy» (Финляндия) и ВИОЛ (Россия).

К настоящему времени для объяснения сущности эффекта Томса предложено около 30 гипотез [2]. В зависимости от принятого подхода их можно условно разделить на три класса: адсорбционные, структурные и базирующиеся на реологии вязкоупругих сред.

Адсорбционные гипотезы предполагают, что снижение гидравлического сопротивления происходит благодаря адсорбции молекул полимера на стенке трубы. Однако эксперименты с добавками красителя показали, что адсорбция полимера на стенке незначительна. Не нашла подтверждения адсорбционная гипотеза и в экспериментах авторов, которые наносили высококонцентрированный гель полимера на стенку трубы с последующей прокачкой воды. Ими было установлено, что этот гель постепенно смывается, в результате чего наблюдается увеличение коэффициента гидравлического сопротивления.

Структурные гипотезы предполагают, что полимерные добавки образуют в турбулентном потоке макро- или микрочастицы [3], а, возможно, макромолекулярные клубки, обеспечивающие гашение турбулентности. Механизм такого гашения до конца не ясен.

Популярными являются гипотезы, в которых объяснение снижения гидравлического сопротивления базируется на реологии вязкоупругих сред. При этом вязкоупругие свойства разбавленных растворов полимеров описываются с помощью нескольких моделей [4]: механической Бургерса-Френкеля; «ожерелья» Каргина-Сломинского-Рауза; свободного проникаемого клубка Бики; непроницаемого клубка Кирквуда-Райзмана-Зимма; частично проникаемого клубка. Авторы работ [4–6] в отличие от авторов структурных гипотез считают, что при использовании растворов полимеров турбулентность не подавляется, а различными способами замедляется. Данная группа гипотез также уязвима для критики. Так, не удалось выделить характерные свойства, которые бы однозначно приводили к снижению гидравлического сопротивления. Опыт показывает, что ряд ПТП оказывают существенное влияние на снижение гидравлического сопротивления при перекачке одних нефтепродуктов и малоэффективны при перекачке других. Наконец, некоторые растворы, обладающие вязкоупругими свойствами, не снижают гидравлического сопротивления и, наоборот,

растворы, не обладающие вязкоупругостью, снижают потери напора при турбулентном течении.

На основании лабораторных экспериментальных исследований сделаны следующие обобщения и выводы:

- высокомолекулярные присадки уменьшают гидравлическое сопротивление только при развитом турбулентном течении;
- положительный эффект от снижения гидравлического сопротивления растет по мере увеличения числа Рейнольдса и молярной массы присадки;
- имеется некоторое оптимальное значение концентрации присадки, при котором эффект уменьшения гидравлического сопротивления максимален;
- после прохождения через центробежные насосы положительное действие присадки резко снижается.

Постановка задачи. Главными факторами, сдерживающими широкое применение ПТП на нефтепродуктопроводах, являются их высокая стоимость и дефицит. В поисках более дешевых и доступных нефтерастворимых полимеров для снижения гидравлических сопротивлений исследователи обратили внимание на смолы и асфальтены — продукты, содержащиеся в остатках крекинг-процесса или прямой перегонки нефти и отличающиеся относительно высокой молярной массой. Кроме того, известны работы [5–7], в которых для снижения гидравлического сопротивления водных растворов применялись карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) и полиакриламид (ПАА). Однако исследования эффективности этих полимеров при перекачке нефтепродуктов в литературе отсутствуют.

Полиакриламид — высокомолекулярный полимер акриламида (амида акриловой кислоты) представляет собой бесцветные кристаллы. Химическая формула $[\text{CH}_2 \Rightarrow \text{CHC}(\text{O})\text{NH}_2]_n$, молекулярная масса 71,08. Температура плавления 84,5 °С, кипения — 215 °С. Давление упругих паров 0,93 Па при температуре 25 °С и 9,3 Па при температуре 50 °С. Хорошо растворим в воде и спиртах. В настоящее время широко применяются водорастворимые полимеры на основе акриламида, которые объединены общим названием «полиакриламиды». В эту группу входят ПАА — неионогенный полимер, его анионные производные, например частично гидролизированный ПАА, и катионные производные, например поливиниламин, а также сополимеры с различными ионогенными и неионогенными мономерами. Полимеры и сополимеры с разной молекулярной массой, молекулярно-массовым распределением, химическим составом и распределением звеньев исходных мономеров вдоль цепи, линейные, разветвленные и сшитые, имеют разное функциональное назначение и различные области применения.

Карбоксиметилцеллюлоза (целлюлозогликолевая кислота $[\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_2(\text{OH})_3 - x(\text{OCH}_2\text{COOH})_x]_n$, где $x = 0,08 - 1,5$) — производная целлюлозы, в которой карбоксиметильная группа ($-\text{CH}_2-\text{COOH}$) соединяется гидроксильными группами глюкозных мономеров. Является слабой кислотой, бесцветна. Впервые синтезирована и запатентована немецким химиком Янсенем в 1918 г. Внешний вид: светло-бежевый кристаллический порошок. рН (1%-ный раствор в воде): 7,7. В химической, пищевой и медицинской промышленности наибо-

лее часто используется как натриевая соль — натрий-карбоксиметилцеллюлоза (Na-карбоксиметилцеллюлоза), водные растворы которой вязки, обладают псевдопластичностью, а у некоторых сортов — тиксотропией. Na-карбоксиметилцеллюлоза применяется в качестве пластификатора, загустителя, ресорбента. В качестве загущающего агента входит в состав зубной пасты, пищевых продуктов (пищевые добавки E469, E466), косметики, лака для волос, слабительных средств. Применяется в производстве клея (например, клея бустилат). Глинистые суспензии Na-карбоксиметилцеллюлозы используются при бурении. Входит в состав моющих средств и наполнителей для аккумуляторов холода. Качественное определение: ИК-спектрофотометрия.

Исследования. Эффективность применения ПАА и КМЦ в качестве противотурбулентных присадок исследовалась в лабораторных условиях при перекачке дизельного топлива и керосина. С этой целью создана экспериментальная установка, состоящая из расходно-

го и приемного резервуаров, соединенных трубопроводом. Учитывая снижение эффективности присадок при прохождении их смеси с нефтепродуктом через насос, при проектировании опытной установки было решено отказаться от использования насосов. Для обеспечения необходимого расхода по трубопроводу при помощи компрессора создавалось и поддерживалось постоянным в процессе эксперимента избыточное давление воздуха над поверхностью жидкости в расходном резервуаре. Приемный резервуар при этом сообщался с атмосферой. После окончания эксперимента при помощи электропневмоклапанов, установленных на воздушной линии, воздушное пространство расходного резервуара сообщалось с атмосферой, а над поверхностью жидкости в приемном резервуаре при помощи компрессора создавалось избыточное давление, что позволяло по обратной линии вернуть перекачанное по исследуемому трубопроводу количество жидкости в расходный резервуар, после чего опыт повторялся с новым расходом.

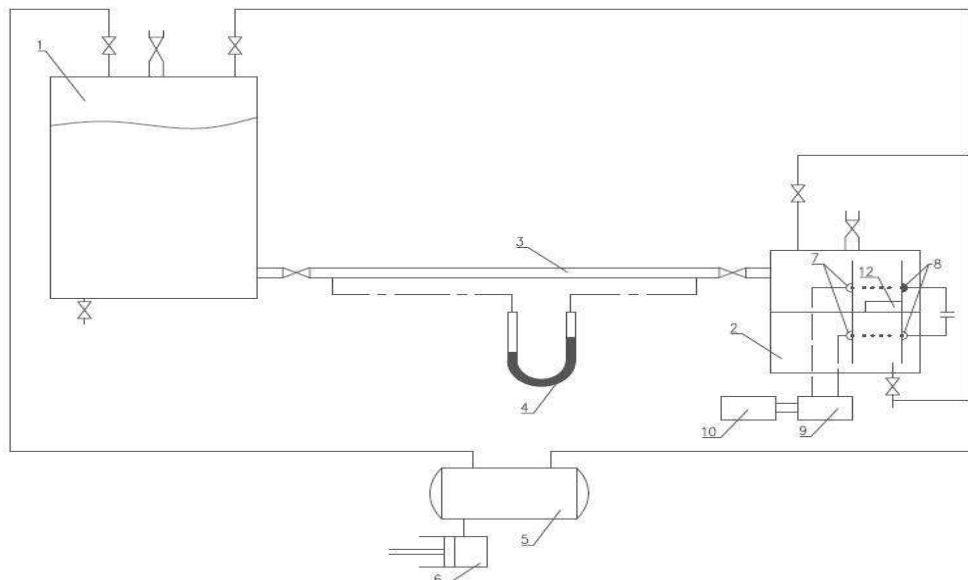


Рис. 1. Принципиальная схема опытного стенда: 1 — раздаточный резервуар; 2 — приемный резервуар; 3 — испытательный трубопровод; 4 — дифманометр; 5 — ресивер; 6 — компрессор; 7 — фотодиоды; 8 — источники света; 9 — реле; 10 — электронный секундомер; 11 — труба; 12 — поплавок

Расход жидкости по исследуемому трубопроводу измерялся объемным методом. Для этого в приемном резервуаре установлена вертикальная труба, при наполнении резервуара она заполнялась нефтепродуктом, на поверхности которого плавал пенопластовый поплавок. На двух уровнях в трубе по разным концам диаметра устанавливались источник света (электrolампочка) и фотодиод. При перекрытии светового потока на фотодиод нижнего уровня поплавком в процессе заполнения резервуара реле включало электронный секундомер для определения времени наполнения. При перекрытии поплавком светового потока на фотодиод верхнего уровня направлялась команда на реле для остановки электронного секундомера. Таким образом измерялось время заполнения приемного резервуара от нижнего до верхнего уровня. Объем жидкости между нижним и верхним контрольными уровнями в приемном

резервуаре определялся опытным путем и составил 67,356 л. При диаметре испытательного трубопровода 25,4 мм и длине 6,5 м создавался максимальный расход до 1,2 л/с, что обеспечивало длительность эксперимента на протяжении минуты.

Для измерения потерь напора на прямолинейном участке испытательного трубопровода использовался ртутный U-образный дифманометр.

Расходный резервуар выполнен цилиндрическим, высотой 1 м, внутренний диаметр 400 мм. В процессе эксперимента уровень жидкости в расходном резервуаре понижался на 536 мм, что создавало некоторую нестационарность процесса течения жидкости и могло сказаться на погрешности определения коэффициента гидравлического сопротивления. Для оценки погрешности, вносимой в результаты определения коэффициента гидравлического сопротивления испытательного

трубопровода нестационарностью течения жидкости, проводилось сравнение результатов, полученных на основе обработки данных с использованием стационарной и нестационарной моделей.

Использование стационарной модели, основанной на применении известной формулы Дарси-Вейсбаха, приводит к зависимости для определения коэффициента гидравлического сопротивления в виде:

$$\lambda = \frac{\pi^2 g D^5 \Delta H \rho_{pm}}{8 L Q^2 \rho_n}, \quad (1)$$

где D, L соответственно диаметр и длина трубопровода; показания ртутного дифманометра при расходе — Q ; ρ_{pm}, ρ_n — плотность ртути и нефтепродукта.

В основу нестационарной модели положено уравнение баланса количества нефтепродукта:

$$S dh = Q dt, \quad (2)$$

где S — площадь зеркала нефтепродукта в расходном резервуаре; dh — изменение уровня за время dt ; Q — расход.

Исходя из уравнения Бернулли, получим:

$$h = \left(\lambda_H \frac{L}{D} + \xi \right) \frac{w^2}{2g}, \quad (3)$$

где λ_H — коэффициент гидравлического сопротивления в условиях нестационарности; ξ — суммарный коэффициент местных сопротивлений; w — средняя скорость потока.

Из (3) легко получить выражение для расхода:

$$Q = \frac{\omega \sqrt{2gh}}{\sqrt{\lambda_H \frac{L}{D} + \xi}}, \quad (4)$$

где ω — площадь сечения трубопровода.

Подставляя (4) в (2), после интегрирования в пределах от верхнего уровня H_1 до нижнего уровня H_2 и несложных преобразований, получим:

$$\frac{\frac{\omega}{S} \tau \sqrt{g}}{\sqrt{2H_1 - \sqrt{2H_2}}} = \sqrt{\lambda_H \frac{L}{D} + \xi}. \quad (5)$$

Из этого выражения получим:

$$\lambda_H = \frac{h D \left(\frac{\omega}{S} \right)^2 \tau^2}{L \left(\sqrt{2H_1 - \sqrt{2H_2}} \right)} - \xi \frac{D}{L}. \quad (6)$$

Суммарный коэффициент местных сопротивлений в (6) определялся опытным путем, в процессе измерения перепада на входе и выходе испытательного трубопровода при помощи ртутного дифманометра.

Для серии опытов, отличающихся значениями числа Рейнольдса, определялись значения коэффициента гидравлического сопротивления трубопровода, без учета нестационарности потока по (1) и с ее учетом по (6). Результаты расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1

Оценка влияния нестационарности процесса на результат определения коэффициента гидравлического сопротивления

№ опыта	Число Рейнольдса Re	Коэффициент гидравлического сопротивления			Погрешность, %
		теоретический λ_T	без учета нестационарности λ	с учетом нестационарности λ_H	
1	6 328	0,0355	0,0347	0,0352	1,42
2	6 516	0,0352	0,0324	0,0328	1,21
3	6 642	0,035	0,0341	0,0339	1,39
4	6 767	0,0349	0,0366	0,0359	1,91
5	6 892	0,0347	0,0335	0,0338	0,88
6	7 018	0,0346	0,0362	0,0359	0,83
7	7 143	0,0344	0,0327	0,0332	1,50
8	13 033	0,0296	0,0321	0,0323	0,62
9	14 637	0,0288	0,0282	0,0291	0,31
10	15 840	0,0282	0,0293	0,0289	1,38
11	16 642	0,0278	0,0277	0,0278	0,35
12	17 845	0,0274	0,0282	0,0279	1,06
13	18 848	0,027	0,0289	0,0288	0,35
14	19 850	0,0267	0,0245	0,0248	1,21

Как следует из анализа результатов расчетов, приведенных в табл. 1, нестационарность процесса приводит к погрешности в определении коэффициента гидравлического сопротивления, не превышающей 1,5 %, что допустимо. Отсюда следует правомочность использования стационарных моделей при обработке результатов экспериментов.

Перед каждой серией опытов производилась подготовка раствора в исследуемом нефтепродукте, в качестве

которого рассматривались дизельное топливо и керосин. Поскольку ПАА и КМЦ являются твердыми кристаллами, вначале готовили раствор ПТП в дизельном топливе (керосине) в весовом соотношении 1:9. Процесс растворения занимал около 72 ч. Далее приготовленный раствор полимера заливали в нефтепродукт, находящийся в раздаточном резервуаре. Количество раствора выбиралось таким образом, чтобы концентрация полимера в нефтепродукте составляла от 0 до 50 г/т.

После этого включался компрессор, с помощью которого создавалось давление над поверхностью нефтепродукта в раздаточном (приемном) резервуаре, и в течение 3 ч смесь циркулировала по трубам установки (управление системой производилось путем переключения электропневмоклапанов в автоматическом режиме). По истечении указанного времени устанавливался определенный режим течения нефтепродукта в смеси с ПТП по испытательному трубопроводу, при котором снимали показания дифманометра с целью определения гидравлических потерь напора и фиксировали время заполнения приемного резервуара с целью определения расхода.

В указанной последовательности работы производились при температуре нефтепродукта 20 °С, для этой цели в помещении лаборатории постоянно поддерживалась указанная температура при помощи кондиционера. После завершения серии опытов на одном типе нефтепродукта и с одной концентрацией ПТП установка освобождалась от жидкости, промывалась и продувалась воздухом.

Первая серия опытов, характеризующаяся различными расходами жидкости, производилась на чистых нефтепродуктах (дизельном топливе либо керосине).

При этом в каждом опыте по известным потерям напора и расходу жидкости определялись число Рейнольдса Re_0 и коэффициент гидравлического сопротивления λ_0 . Кроме того, для оценки погрешности рассчитывалось теоретическое значение коэффициента гидравлического сопротивления λ_T на основе классической формулы Блазиуса. Впоследствии аналогичным образом обрабатывались результаты опытов для смеси каждого нефтепродукта с ПТП различной концентрации, при этом определялись значения коэффициента гидравлического сопротивления $\lambda_{П}$. Эффективность присадки, которая характеризовала степень снижения гидравлического сопротивления, оценивалась соотношением:

$$\varphi = \frac{\lambda_0 - \lambda_{П}}{\lambda_0} . \quad (7)$$

В результате проведения различных серий экспериментов, отличающихся типом нефтепродукта, типом противотурбулентной присадки и ее концентрацией в смеси, получены результаты, приведенные в виде графиков на рис. 2.

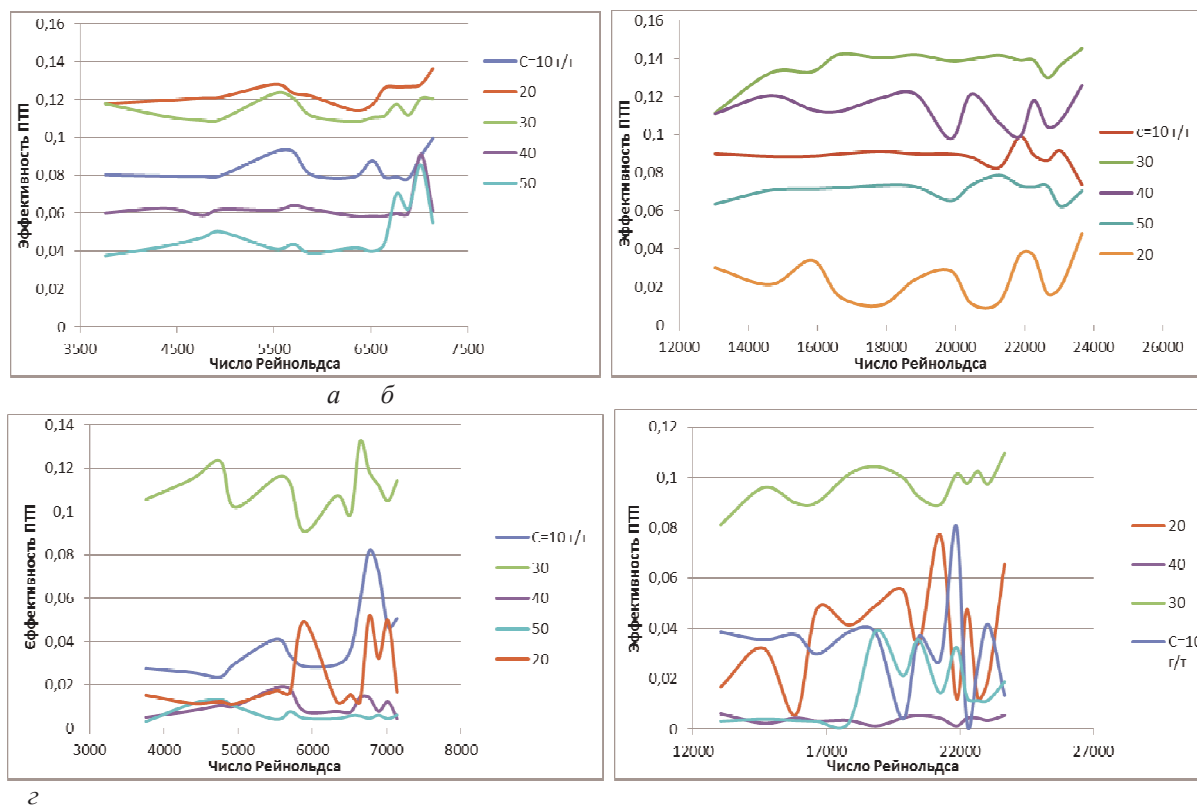


Рис. 2. Зависимость эффективности противотурбулентной присадки от числа Рейнольдса: а — дизельное топливо с ПАА; б — керосин с ПАА; в — дизельное топливо с КМЦ; г — керосин с КМЦ

Анализ полученных результатов показывает, что исследуемые полимеры ПАА и КМЦ могут с успехом использоваться в качестве противотурбулентных присадок при перекачивании дизельного топлива и керосина по магистральным нефтепродуктопроводам, поскольку их небольшие концентрации в смеси с указанными нефтепродуктами приводят к уменьшению гидравлического сопротивления, что в конечном итоге

способствует повышению пропускной способности трубопроводов и сокращению энергозатрат на перекачивание. Следует отметить, что каждая из рассматриваемых ПТП ведет себя в смеси с разными нефтепродуктами (дизельным топливом и керосином) по-разному, общих закономерностей для установления аналитических закономерностей получить не удалось. Наиболее эффективной оказалась присадка ПАА в

смеси с керосином (снижение коэффициента гидравлического сопротивления в пределах 10–15 % в зависимости от концентрации). Присадка ПАА в дизельном топливе приводит к снижению коэффициента гидравлического сопротивления в пределах 10–14 %. Менее эффективной оказалась присадка КМЦ: в смеси с дизельным топливом наблюдается снижение коэффициента гидравлического сопротивления в пределах 9–13 %, в смеси с керосином — 9–11 %. Авторы [7; 8] утверждают, что применение стандартных ПТП зарубежного производства способно снизить гидравлическое сопротивление трубопровода в значительно большей степени (до 25–35 %). Однако они же отмечают, что главным требованием к ПТП является чистота полимера, что сказывается на цене присадок. В нашем случае опыты проводились на

технических полимерах ПАА и КМЦ, применяемых при бурении скважин.

Результаты опытов подтверждают положение о том, что с увеличением молекулярной массы ПТП по отношению к плотности нефтепродукта ее эффективность возрастает. Кроме того, увеличение числа Рейнольдса также приводит к повышению эффективности присадки.

Наконец, важным параметром, определяющим эффективность применения противотурбулентных присадок, является ее концентрация в смеси с нефтепродуктом. На рис. 3 приведены зависимости эффективности противотурбулентных присадок ПАА и КМЦ в смеси с дизельным топливом и керосином при разных концентрациях, построенные на основании результатов проведенных опытов.

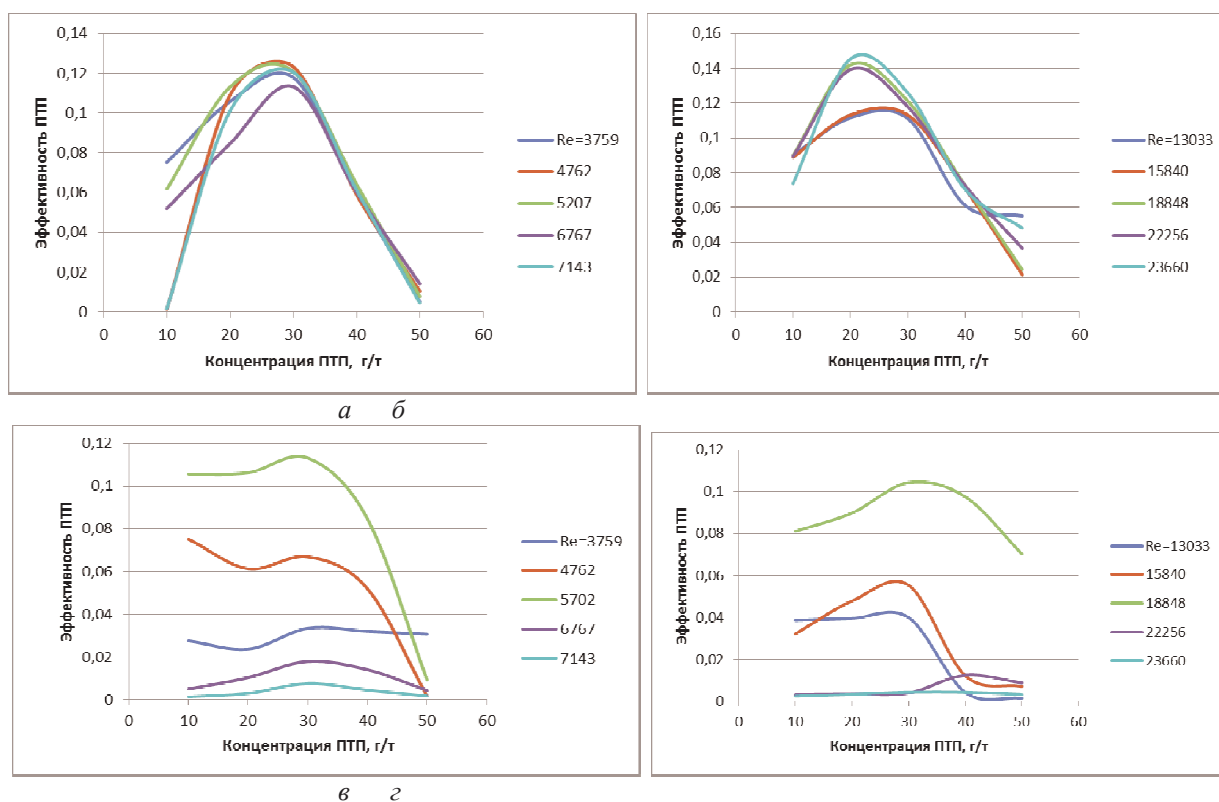


Рис. 3. Зависимость эффективности противотурбулентной присадки от концентрации: *а* — дизельное топливо с ПАА; *б* — керосин с ПАА; *в* — дизельное топливо с КМЦ; *з* — керосин с КМЦ

Как видно из графиков, для каждого типа рассматриваемых смесей характерна концентрация, при которой достигается максимальная эффективность ПТП. Для смеси дизельного топлива с ПАА оптимальная концентрация лежит в пределах 20–29 г/т и возрастает с увеличением числа Рейнольдса. При использовании ПАА в качестве противотурбулентной присадки к керосину диапазон оптимальных концентраций составляет 19–33 г/т и с увеличением числа Рейнольдса отклоняется в меньшую сторону. Использование в качестве противотурбулентной присадки КМЦ в смеси с дизельным топливом наиболее эффективно в диапазоне концентраций 26–33 г/т и не зависит от числа Рейнольдса, а при использовании того же полимера в смеси с керосином

оптимальная концентрация находится в диапазоне 26–38 г/т и возрастает с увеличением числа Рейнольдса.

Выводы

С целью снижения гидравлического сопротивления нефтепроводов при транспортировании нефтепродуктов (дизельного топлива и керосина) предложено использовать в качестве противотурбулентных присадок высокомолекулярные полимеры полиакриламид и карбоксиметилцеллюлозу. Проведенные серии лабораторных исследований смесей указанных компонентов при различных режимах перекачки и разных концентрациях позволили разработать рекомендации по выбору типа и концентрации присадок в зависимости от режима течения нефтепродукта.

Литература

1. Кобец Г.Ф. О физическом обосновании механизма снижения сопротивления полимерными добавками // Влияние полимерных добавок и упругости поверхности на пристанную турбулентность. Новосибирск: Наука, 1978. С. 24-44.
2. Белоусов Ю.П. Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей // Новосибирск: Наука, 1986. 145 с.
3. Павловский В.А. К вопросу о теоретическом описании слабых водных растворов полимеров // Доклады АН СССР. 1971. Т. 200. № 4. С. 809-813.
4. Порайко И.Н., Арутюнов А.И. Снижение давления в промысловом нефтепроводе с помощью полиакриламида // Нефтепромысловое дело. 1978. № 6 С. 46-48.
5. Коршак А.А., Хусейн М.Н. Условия эффективного применения противотурбулентной присадки при решении задачи увеличения производительности нефтепровода // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. № 1. С. 41- 45.
6. Несын Г.В. Манжай В.Н., Попов Е.А. Эксперимент по снижению гидравлического сопротивления нефти на магистральном трубопроводе «Тихорецк-Новоросийск» // Трубопроводный транспорт нефти. 1993. № 4. С. 28-30.
7. Лемли Д.Л. Эффект Томса: аномальные явления при турбулентном течении разбавленных растворов полимеров // Механика. 1969. № 2. С.70-89.
8. Ерошкина И.И. Марон В.И., Прохоров А.Д. Влияние малых полимерных добавок на частоту пристенных турбулентных выбросов при течении жидкостей в трубопроводе // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 2000. Вып. 4. С. 29-30.
9. Амфилохийев В.Б., Артюшков Л.С. Критерии подобия турбулентных течений разбавленных растворов полимеров и обобщенная зависимость для коэффициента трения // Изв. РАН. Сер. Механика жидкости и газа. 1998. № 4. С. 191-196.
10. Лурье М.В. Гидравлические расчеты перекачки дизельных топлив с анти турбулентными присадками // Транспорт и хранение нефтепродуктов. 1996. № 10-11. С. 18-20.
11. Муратова В.И., Нечваль А.М. Обеспечение требуемой производительности перекачки путем определения необходимой концентрации различных противотурбулентных присадок. // Трубопроводный Транспорт — 2007: тезисы докл. междунар. учеб. науч.-практ. конф. Уфа: ДизайнПолиграф Сервис, 2007. С. 28-30.
12. Коршак А.А. Экспериментальная установка для исследования изменения коэффициента гидравлического сопротивления при введении противотурбулентной присадки в поток жидкости // Мировое сообщество: проблемы и пути решения. 2008. № 23. С. 42-44.
13. Хуссейн М. Н. А., Коршак А.А. Применение противотурбулентных присадок для улучшения гидравлических характеристик нефтепроводов // Строительство. Коммунальное хозяйство.

зайство. Насосы. Трубопроводы-2008: материалы XII междунар. науч.-техн. конф. Уфа: УГНТУ, 2008. Т. 2. С. 71-72.

References

1. Kobets G.F. On the physical basis of the mechanism of drag reduction polymer additives // Vliyanie polimernykh dobovok i uprugosti poverkhnosti na pristannuyu turbulentnost'. Novosibirsk: Nauka, 1978. P. 24-44.
2. Belousov Yu.P. Anti-turbulens additives for hydrocarbon liquids // Novosibirsk: Nauka, 1986. 145 p.
3. Pavlovskii V.A. On the question of the theoretical description of weak aqueous solutions of polymers // Doklady AN SSSR. 1971. T.200. № 4. P. 809-813.
4. Poraiko I.N., Arutyunov A.I. Reduced fishing pressure in the pipeline with the help of a polyacrylamide // Oilfield Engineering. 1978. № 6. P. 46-48.
5. Korshak A.A., Khusein M.N. Conditions for effective use anti-turbulent additives in solving the problem uvleicheniya performance pipeline // Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2008. № 1. P. 41-45.
6. Nesyn G.V. Manzhai V.N., Popov E.A. Experiment on drag reduction of oil on the main pipeline "Tikhoretsk-Novorossiysk" // Truboprovodnyi transport nefiti. 1993. № 4. P. 28-30.
7. Lemli D.L. Toms Effect: anomalous phenomena in turbulent flow of dilute polymer solutions // Mekhanika. 1969. № 2. P. 70-89.
8. Eroshkina I.I., Maron V.I., Prokhorov A.D. Influence of small polymer additives on the frequency of wall turbulent emissions of fluid flow in the pipeline // Transport i khranenie nefteproduktov. 2000. Vyp. 4. P. 29-30.
9. Amfilokhiev V.B., Artyushkov L.S. Criteria for similarity of turbulent flows of dilute polymer solutions and generalized dependence of the friction coefficient // Fluid Dynamics. 1998. № 4. p. 191-196.
10. Lur'e M.V. Hydraulic calculations pumping diesel fuel with anti-turbulent additives // Transport i khranenie nefteproduktov. 1996. № 10-11. P. 18-20.
11. Muratova V.I., Nechval' A.M. Provide the required pumping performance by defining the desired concentration of different anti-turbulens additives. // Truboprovodnyi Transport-2007: tezisy dokl. mezhdunar. ucheb. nauch.-prakt. konf. Ufa: DizainPoligraf Servis, 2007. P. 28-30.
12. Korshak A.A. The experimental setup for the study of changes in the coefficient of hydraulic resistance when administered anti-turbulens additive into the flow of the liquid // Mirovye soobshchestvo: problemy i puti resheniya. 2008. № 23. P. 42-44.
13. Khussein M. N. A., Korshak A.A. Application anti-turbulent additives to improve the characteristics of the hydraulic oil // Stroitel'stvo. Kommunal'noe khozyaistvo. Nasosy. Truboprovody-2008: materialy XII mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ufa: UGNTU, 2008. T. 2. P. 71-72.