

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2018, №3, Том 10 / 2018, No 3, Vol 10 <https://esj.today/issue-3-2018.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/34SAVN318.pdf>

Статья поступила в редакцию 30.03.2018; опубликована 24.05.2018

Ссылка для цитирования этой статьи:

Балабуха А.В., Иншаков Р.С., Анисимова Е.Ю., Яснюк Т.И., Панасенко Н.Л., Вязкова Е.А. Аналитические методы оценки эффективности применения противотурбулентных присадок // Вестник Евразийской науки, 2018 №3, <https://esj.today/PDF/34SAVN318.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

For citation:

Balabukha A.V., Inshakov R.S., Anisimova E.Yu., Yasnyuk T.I., Panasenko N.L., Vyazkova E.A. (2018). Analytical methods of estimation of effectiveness of application of anti-turbulent additives. *The Eurasian Scientific Journal*, [online] 3(10). Available at: <https://esj.today/PDF/34SAVN318.pdf> (in Russian)

УДК 05.23.16

ГРНТИ 73.39.81

Балабуха Алексей Владимирович

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: dein500@mail.ru

Иншаков Роман Сергеевич

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 4-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: romawushu@mail.ru

Анисимова Екатерина Юрьевна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

Яснюк Татьяна Игоревна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: tanya_yasnyuk@mail.ru

Панасенко Наталья Леонидовна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: natasha--0@mail.ru

Вязкова Елизавета Андреевна

ФГОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Россия
Студент 3-го курса кафедры «Нефтегазовое дело и нефтехимии»
Бакалавр
E-mail: vyazkova.elizaweta@yandex.ru

Аналитические методы оценки эффективности применения противотурбулентных присадок

Аннотация. Экономика многих стран на сегодняшний день имеет потребность в увеличении доли потребления нефти и нефтепродуктов в связи с ростом промышленной активности. Современные магистральные трубопроводные системы транспортируют огромные объемы нефти на пределе своих мощностей. В первую очередь это связано с существующими ограничениями по давлению на определенных участках магистральных нефтепроводов, которые являются лимитирующими для расширения пропускной способности всей системы. Задача по увеличению пропускной способности трубопроводов предусматривает поиск новых решений, не предусматривающих повышение давления на выходе из нефтеперекачивающей станции, так как на сегодняшнем этапе развития отрасли это является невозможным в ряде случаев. Кроме того, существуют задачи по оптимизации работы нефтепроводов транспортирующих нефть с месторождений, так как после прохождения пиковой загрузки такие системы работают с недогрузкой. Противотурбулентные присадки сегодня становятся средством достижения этой задачи. Однако их применение влечет за собой ряд сопутствующих задач по определению оптимальной концентрации присадки, а также эффективности ее применения в зависимости от параметров нефтепроводной системы и противотурбулентных агентов. В статье представлен ход проведенных исследований, по результатам которых были проанализированные основные аналитические методы оценки эффективности применения полимерных добавок для снижения гидравлического сопротивления трения и на основе этих методов был разработан программный продукт, позволяющий оценить снижение потерь давления в зависимости от концентрации противотурбулентной присадки. Расчеты, проведенные с помощью разработанной программы, подтвердили данные промышленной эксплуатации современно высокомолекулярной противотурбулентной присадки, применяемой на нефтепроводной системе Восточная Сибирь – Тихий океан.

Ключевые слова: полимерные добавки; полиакриламид; гидравлические сопротивления; расход; потери напора; коэффициент трения; эффект Томса; строительная стоимость; концентрация полимера; эксплуатационные затраты; противотурбулентные присадки

Введение

На сегодняшний день компании топливно-энергетического комплекса тратят огромные средства на транспортировку нефти из регионов, где производится добыча в регионы, где располагаются основные потребители. Поэтому столь остро встает вопрос снижения себестоимости транспортировки нефти, так как это позволит снизить стоимость нефти и нефтепродуктов для конечных потребителей. Со все возрастающим спросом на энергоносители в нашей стране и во всем мире постоянно существует потребность в создании новых транспортных систем и расширении пропускной способности уже существующих трубопроводов.

Магистральные нефтепроводы имеют протяженность многие десятки и сотни километров, а в диаметре достигают 1200 мм. Объемы транспортируемой нефти по таким системам увеличиваются с каждым годом. Обеспечение увеличения пропускной способности становится первостепенной задачей современных транспортных компаний топливно-энергетического комплекса [1].

Основные задачи проектирования и строительства нефтепровода

Важно отметить, что к основным задачам проектирования магистральных нефтепроводов относят:

- обеспечение оптимального режима его работы, то есть минимальные затраты энергии на транспортирование нефти;
- минимальные капитальные вложения на этапе строительства для сокращения срока окупаемости проекта;
- и, конечно, обеспечение конструкционной надежности работы трубопровода для безопасности жизни людей и сохранения природных условий регионов, по которым проходит магистраль.

Эти задачи предусматривают учет многих факторов, которые могут влиять на работу магистрального нефтепровода: свойства перекачиваемой нефти, объемы ее транспортировки, диаметр и материал трубопровода, а также температура окружающей среды и т. п.

Цель данной работы создание инструмента для оценки эффективности применения различного типа полимерных добавок для снижения гидравлического сопротивления, а, следовательно, и увеличения пропускной способности магистральных нефтепроводов.

Снижение гидравлического сопротивления с помощью введения высокомолекулярных полимерных соединений

Нефть по трубопроводу движется под действием давления, создаваемого на нефтеперекачивающих станциях магистральными насосными агрегатами. По мере продвижения по нефтепроводу, происходят потери этого напора за счет преодоления жидкостью гидравлического сопротивления трения, за счет тепловых потерь и потерь, связанных с местными сопротивлениями.

Потери давления на преодоление гидравлического сопротивления для круглых труб могут быть определены по уравнению Дарси

$$h_{\text{тр}} = \lambda \frac{l V^2}{d 2g}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина трубы (м); d – внутренний диаметр трубы (м); V – средняя скорость движения жидкости в трубе (м/с), которая определяется по уравнению.

$$V = 1,27 \frac{Q}{d^2}, \quad (2)$$

где Q – расход жидкости в трубе (м³/с).

Из представленных уравнений видно, что потери давления зависят от объема транспортируемой нефти, диаметра трубопровода и коэффициента гидравлического сопротивления. Следовательно, для увеличения пропускной способности такой системы, необходимо предусмотреть меры для снижения гидравлических сопротивлений, чтобы скомпенсировать изменение расхода нефти.

Как видно из предыдущих зависимостей, снижение потерь давления возможно путем увеличения проектного диаметра системы или снижением коэффициента трения λ . Однако, очевидно, что увеличения диаметра трубопровода приведет к возрастанию стоимости проекта за счет роста капитальных вложений. Кроме того, увеличение диаметра магистрального трубопровода создает технологические препятствия для его укладки, сварки стыков,

увеличение размеров всей трубопроводной арматуры и транспортировки труб к району прокладки. Строительство трубопроводов большого диаметра также создает повышенную нагрузку на окружающую среду [2].

Поэтому сегодня актуальной является задача снижения потерь давления по длине трубопровода без увеличения его диаметра за счет уменьшения коэффициента гидравлического сопротивления λ . Для решения этой задачи в последние годы успешно применяются специализированные растворы высокомолекулярных водорастворимых полимеров, которые представляют собой химические соединения с высокой молекулярной массой и линейной структурой так называемых макромолекул – полиакриламид (ПАА), полиэтиленоксид (ПЭО), полилюкс, гуаровая смола, поливиниловый спирт (ПВС) и т. п. Введение таких соединений в основной объем жидкости приводит к аномальному снижению турбулентности потока и, соответственно, гидравлического сопротивления.

Для уменьшения гидравлических сопротивлений в магистральных нефтепроводах применяют противотурбулентные присадки FLO XL, FLO MXA, M-FLOWTREAT, PT-FLYDE и др., содержание активного полимера в которых составляет до 25 %.

Аналитический метод расчета

Исследования Ю.А. Войтинской и Ю.А. Альтшуля [3, 4] по расчету коэффициента гидравлического сопротивления при течении раствора полиакриламида (ПАА) в воде по трубопроводу позволили получить следующую зависимость

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{2,8V_{\text{пор}}^2}{V\sqrt{\lambda}} \right)^{\beta/5,75} \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{49}{3,701} \right) \right], \quad (3)$$

где $V_{\text{пор}}^*$ – пороговая динамическая скорость (м/с), при которой начинается снижение потерь напора; β – коэффициент, зависящий от вида полимера и его концентрации. Например, для полиакриламида (ПАА) Ю.А. Войтинская рекомендует принимать $V_{\text{пор}}^* = 0,05$ м/с, а β при $(0,005 \% < C < 0,012 \%)$ – находить по эмпирической формуле

$$\beta = 1000 C, \quad (4)$$

где C – объемная концентрация полимера (%).

Кроме обозначенной выше зависимости существует ряд различных уравнений, позволяющих в той или иной степени оценить эффективность применения противотурбулентных присадок.

На основании теории Т. Кармана [5] получено трансцендентное уравнение, называемое «универсальным законом сопротивления»

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 0,88 \ln(A \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 3,745, \quad (5)$$

где A – некоторая постоянная, учитывающая взаимодействие турбулентного потока со стенкой трубы, равная нулю при отсутствии присадки.

В работах [6, 7] приводится зависимость коэффициента гидравлического сопротивления как функции Re , ε и C , в основу которой также положена известная степенная формула А.Д. Альтшуля, в виде:

$$\lambda_f = \left[0,11 \cdot \left(\frac{68}{Re} + \varepsilon \right)^{0,25} \right], \quad (6)$$

где $C_{\text{пр}}$ – приведенная концентрация присадки. Однако, зависимость (6) справедлива только для одного вида присадки – *Necadd-547*.

Таблица 1

Сопоставление результатов расчета коэффициента гидравлического сопротивления по различным формулам

Формула (4)	Формула (5)	Формула (6)
1	2	3
Относительная погрешность 3,76 %	Относительная погрешность 9,85 %	Относительная погрешность 7,32 %

Составлено авторами

Уравнение (3) было выбрано за основу разрабатываемого проекта по оценке эффективности противотурбулентных присадок, так как эта зависимость позволяет производить расчет по различным параметрам трубопроводной системы и для различных типов полимерных добавок. Однако, расчет по этому уравнению осложняется тем, что его решение предусматривает перебор огромного количества значений.

Предлагаемое решение

Решением поставленной задачи стало создание специализированной программы для оценки эффективности и расчета оптимальной концентрации противотурбулентных присадок.

Параметры

- Среда разработки: C++
- Операционные системы: Windows XP/Vista/7, Linux, Mac OS

Исходные данные:

- Эквивалентная шероховатость трубы ($\Delta\epsilon$ [м])
- Внутренний диаметр трубы (d [м])
- Расход жидкости в трубе (q [м³/с])
- Кинематическая вязкость среды (ν [м²/с])
- Пороговая скорость (табличное значение для выбранной присадки, ($V_{\text{пор}}$ [м/с]))
- Объемная концентрация полимерной присадки (C [%])

Результатом является рассчитанное значение коэффициента трения λ раствора полимерной присадки в зависимости от концентрации добавки

Программа создает график зависимости снижения коэффициента трения λ в зависимости от концентрации присадки, что дает возможность определить оптимальную концентрацию присадки, при которой снижение гидравлического сопротивления будет максимальным.

Анализ получаемых данных

Проведение серии экспериментов по оценке влияния концентрации ПТП на вязкость раствора ПТП с жидкостью на капельном вискозиметре была проведена серия экспериментов по определению вязкости раствора присадки PT-FLYDE в глицерине с различными концентрациями.

Эксперименты производились при постоянной комнатной температуре для исключения влияния температурного градиента на вязкость раствора ПТП.

В области эффективной концентрации ПТП – от 0 до 100 ppm опытные значения показали аномальное увеличение вязкости раствора при повышении концентрации присадки. Эта зависимость не подчиняется правилу аддитивности, которое обычно используется при расчете вязкости растворов.

Добавление незначительных количеств полимера приводит к ее резкому возрастанию. Вязкость даже очень разбавленного раствора полимера высокого молекулярного веса может быть в 10-20 раз больше вязкости растворителя [8, 9].

Выявление зависимостей, описывающих такое влияние и внесение соответствующих изменений в выбранное уравнение

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left[\left(\frac{2,8 V_{пор}^*}{V \sqrt{\lambda}} \right)^{Z * C / 5,75} \left(\frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta_3}{3,7 d} \right) \right], \quad (7)$$

где Z – эмпирический коэффициент влияния концентрации присадки. Этот параметр зависит от типа выбранной присадки.

- Внесение необходимых изменений в программный код для обеспечения точности расчетов и повышения функциональности продукта.
- Создание специализированного приложения на основе разработанной программы, для обеспечения эргономичности использования разработанной программы.

Проведение обозначенных выше мероприятий позволило расширить функциональность и эргономичность разрабатываемого проекта.

Был проработан понятный интерфейс программы для обеспечения удобной работы.

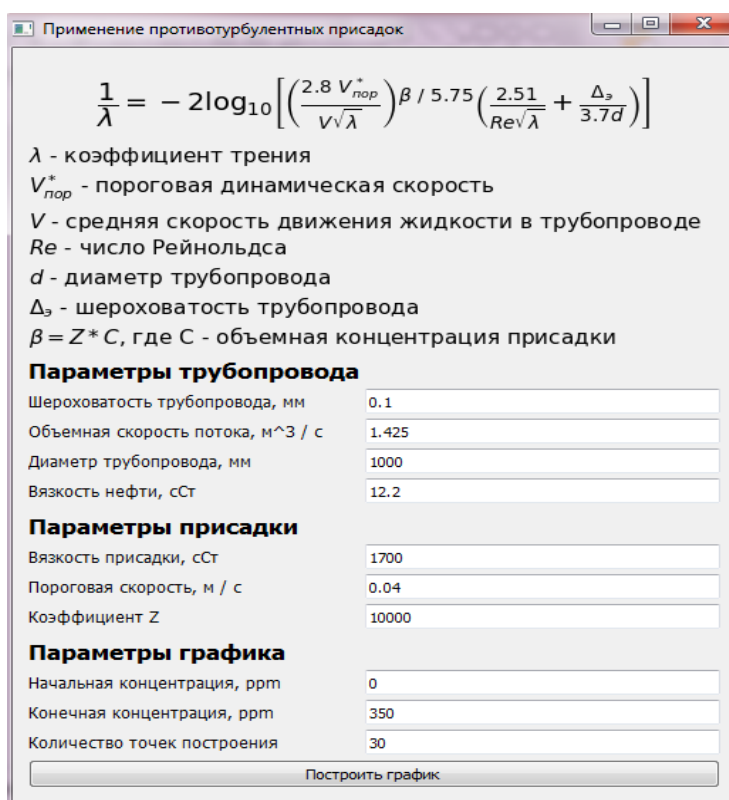


Рисунок 1. Интерфейс разработанного приложения для компьютера (составлено авторами)

Далее был произведен расчет эффективности двух типов противотурбулентных присадок и сравнительный анализ с данными промышленной эксплуатации.

Сравнение данных производителя с полученными с помощью программы

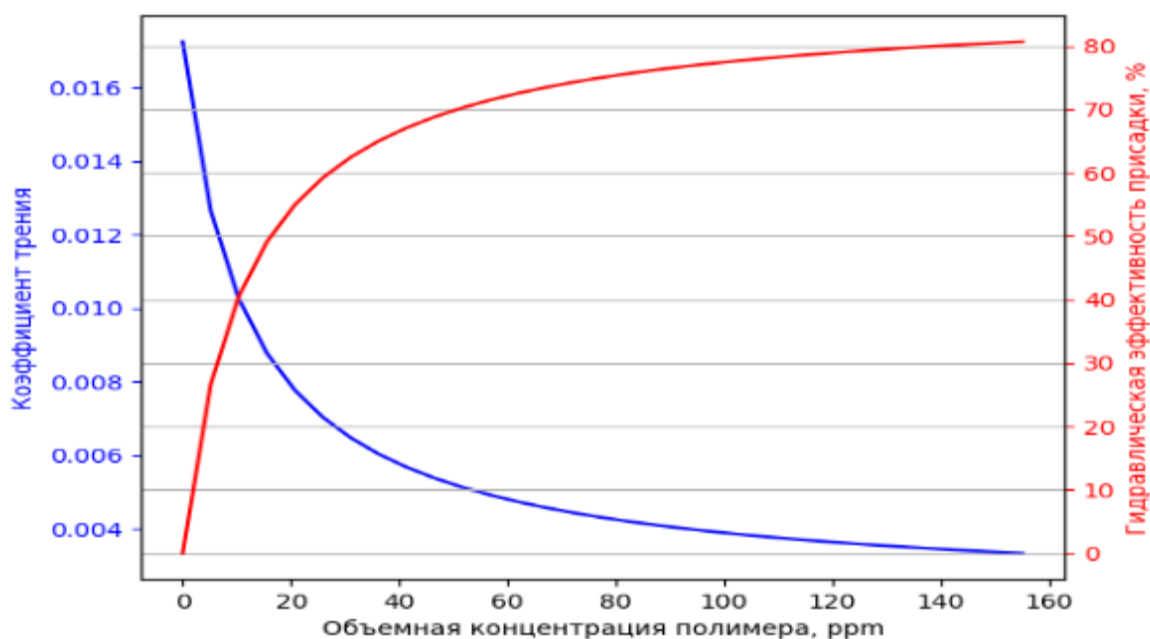


Рисунок 2. Графическая зависимость эффективности ПТП (FLO-MX) и коэффициента гидравлического сопротивления от концентрации ПТП, полученная с помощью разработанной программы (составлено авторами)

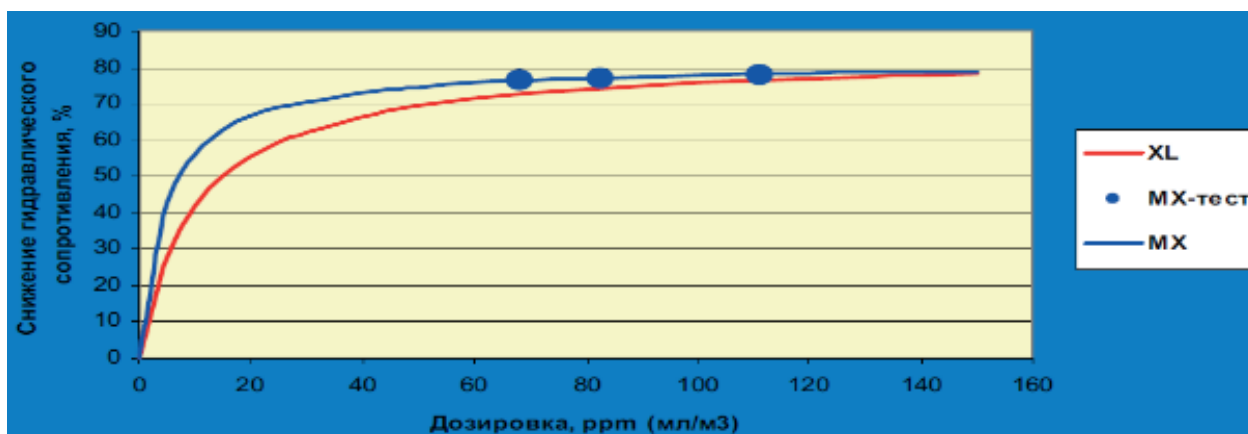


Рисунок 3. Данные производителя ПТП FLO-MX по эффективности ее применения (составлено авторами)

Как видно из полученных графиков, результаты разработанной программы подтверждают опытные значения компании производителя ПТП по всей области эффективной концентрации.

В перспективе планируется создание программного комплекса для расчета оптимального диаметра магистрального трубопровода, соответствующего минимальным эксплуатационным и капитальным затратам в зависимости от вида и концентрации применяемой противотурбулентной присадки.

В ходе дальнейшей работы, руководством общества была поставлена задача по оценке снижения эффективности ПТП вдоль трассы нефтепровода с параметрами, соответствующими эксплуатируемой трубопроводной системе.

Был рассмотрен лимитирующий участок трубопроводной системы в двух режимах эксплуатации с применением ПТП и без.

Таблица 2

Типовые данные участка нефтепровода с применением ПТП с расходом 12 литров в час, что соответствует 2,1 ppm

1	Давление, МПа	Расстояние, км	Высотные отметки, м	Расход нефти, м ³ /ч	Расход ПТП, ppm
1	2	3	4	5	6
НПС-1	6,13	0	253,7	5 211,19	2,1
КП-1	5,77	26,1	242,8		
КП-2	5,58	51,5	210,9		
КП-3	5,15	81,4	198,2		
КП-4	5,40	110,5	105,5		
КП-5	5,33	114,2	105,6		
КП-6	5,26	116,9	108,2		
КП-7	4,30	140,3	178,6		
КП-8	4,46	162,4	109,2		
КП-9	4,36	166,2	111,8		
КП-10	2,01	210,7	310,3		
КП-11	2,54	238,8	185,5		
НПС-2	0,67	259,6	369,5		

Составлено авторами

Таблица 3

Типовые данные эксплуатации участка нефтепровода без применения ПТП

1	Давление, МПа	Расстояние, км	Высотные отметки, м	Расход нефти, м ³ /ч
1	2	3	4	5
НПС-1	6,33	0	253,7	5 116,69
КП-1	5,94	26,1	242,8	
КП-2	5,73	51,5	210,9	
КП-3	5,28	81,4	198,2	
КП-4	5,52	110,5	105,5	
КП-5	5,44	114,2	105,6	
КП-6	5,37	116,9	108,2	
КП-7	4,38	140,3	178,6	
КП-8	4,52	162,4	109,2	
КП-9	4,42	166,2	111,8	
КП-10	2,06	210,7	310,3	
КП-11	2,57	238,8	185,5	
НПС-2	0,67	259,6	369,5	

Составлено авторами

Основной эксплуатационной характеристикой ПТП является ее эффективность ψ , которая определяется по формуле 8 (см. [4]):

$$\psi = \frac{\lambda_0 - \lambda_f}{\lambda_0} \cdot 100 \% = \left(1 - \frac{\Delta P_f \cdot Q_0^2}{\Delta P_0 \cdot Q_f^2} \right) \cdot 100 \% \quad (8)$$

где λ_f , λ_0 – коэффициенты гидравлического сопротивления трения при течении нефти с ПТП и без нее;

ΔP_f , ΔP_0 – потери давления на трение при течении нефти с ПТП и без нее, Па;

Q_f , Q_0 – расход нефти с ПТП и без нее, м³/с.

Как видно из приведенных данных, расход нефти на участке трубопровода от НПС-1 до НПС-2 увеличился на 2 % при внедрении ПТП, кроме того, при неизменном давлении на конце участка нефтепровода удалось снизить давление после НПС-1 на 3,2 %, следовательно, суммарная эффективность ПТП на выбранном участке составила 7 % по формуле (8) [10].

На рисунке 4 представлен анализ средней эффективности ПТП PT-FFLYDE, учитывая основные параметры участка нефтепровода.

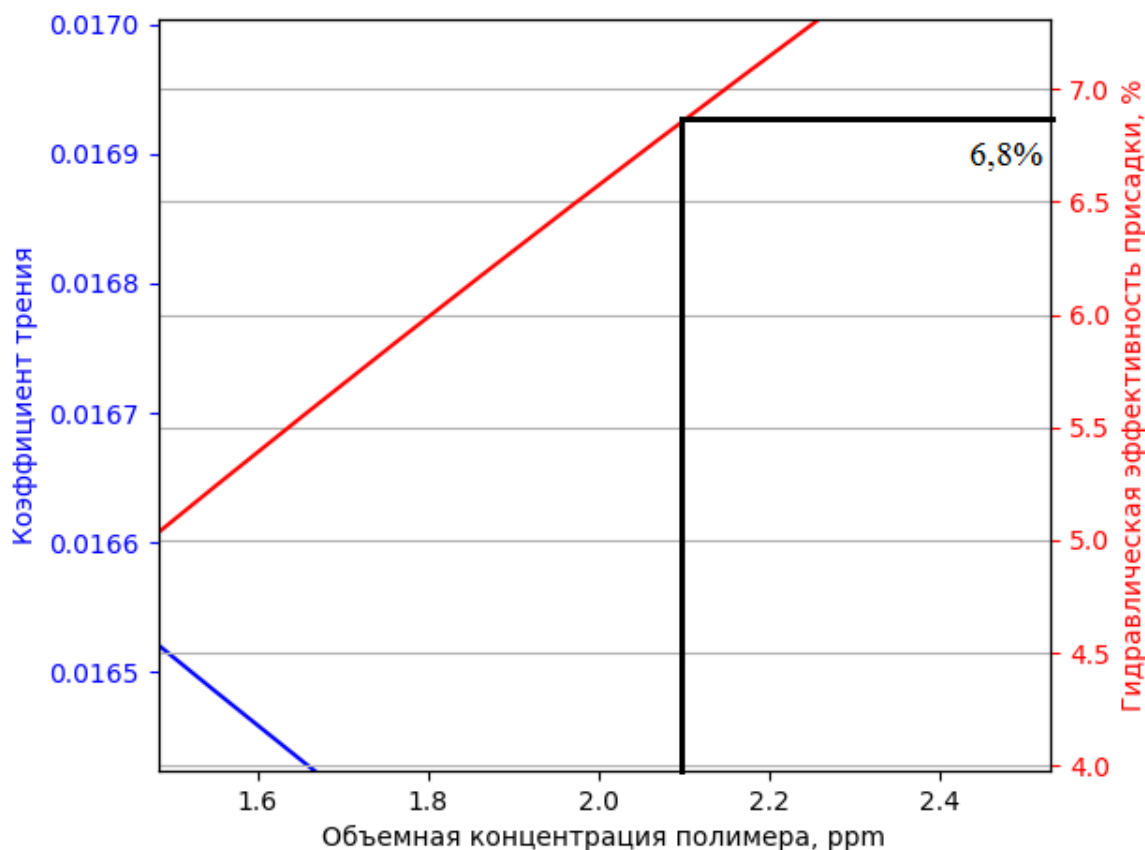


Рисунок 4. Расчет эффективности ПТП PT-FLYDE для выбранного участка нефтепровода (составлено авторами)

При расчете эффективности используемой присадки для участка нефтепровода, было получено значение средней эффективности равное 6,8 %, что удовлетворяет требованиям точности расчета с помощью аналитических средств.

Направления дальнейшей работы

Наиболее важными задачами на данный момент являются:

- Расширение возможностей разработанной программы для расчета эффективной концентрации ПТП при различных температурных режимах.
- Дополнение ПО для расчета эффективности ПТП по всей длине трассы МН.
- Решение обратной задачи – проектирование трубопровода, где будет заложено использование полимерных присадок для снижения металлоемкости системы [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абросимов, Ю.Г., Хоанг Зань Бинь. Эффект аномального снижения гидравлического сопротивления при введении в поток линейных высокомолекулярных полимеров // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. 2009. № 1. URL: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения: 10.02.2017).
2. Белоусов, Ю.П., Сухова, И.И., Коваль, Л.Б., Гареев, М.М. Полимерные присадки для снижения гидродинамического сопротивления нефти // Нефтяное хозяйство. 1991. – № 5 – С. 36-37.
3. Альтшуль, Ю.А. Снижение гидравлических сопротивлений трубопроводов, транспортирующих воду // Водоснабжение и сантехника. 1973. – № 5 – С. 5-8.
4. Валиев, М.И. К вопросу о механизме действия высокомолекулярных полимерных противотурбулентных присадок / М.И. Валиев, В.В. Жолобов, Е.И. Гарновский // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 3. – С. 11-18.
5. Гареев, М.М. Повышение эффективности магистральных нефтепроводов на основе использования агентов снижения гидравлического сопротивления и совершенствования системы учета нефти: автореф. дис. ... док. техн. наук: 25.00.19 / Гареев Мурсалим Мухутдинович. – Уфа, 2006. – 24 с.
6. Гольянов, А.И. Снижение гидродинамического сопротивления при течении углеводородных жидкостей в трубах противотурбулентными присадками / А.И. Гольянов, В.В. Жолобов, Г.В. Несын, С.Л. Семин, А.М. Ширяев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2012. – №2. – С. 80-87.
7. Жолобов, В.В. К вопросу определения функциональной зависимости гидравлической эффективности противотурбулентных присадок от параметров транспортируемой среды / В.В. Жолобов, Д.И. Варыбок, В.Ю. Морещкий // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 4. – С. 52-57.
8. Лебедев, Г.М. Снижение гидравлического сопротивления труб с помощью добавок полиакриламида // Сб. тр. МИНТ. – 1976. – № 521. – С. 58-61.
9. Лисин, Ю.В. Оценка эффективности противотурбулентных присадок по результатам опытно-промышленных испытаний на магистральных нефтепроводах / Ю.В. Лисин, С.П. Семин, Ф.С. Зверев // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2013. – № 3. – С. 6-11.
10. Муратова, В.И. Оценка влияния противотурбулентных присадок на гидравлическую эффективность нефтепродуктопроводов: дис. ... канд. техн. наук. Уфа, – 2014. – 145 с.
11. Зверева В.А., Балабуха А.В. Применение полимерных добавок для повышения эффективности магистральных нефтепроводов // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. № 1. С. 124-131.

Balabukha Aleksei Vladimirovich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: dein500@mail.ru

Inshakov Roman Sergeevich

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: romawushu@mail.ru

Anisimova Ekaterina Yuryevna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: anisimova.eiu@mail.ru

Yasnyuk Tatyana Igorevna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: tanya_yasnyuk@mail.ru

Panasenko Natalia Leonidovna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: natasha--0@mail.ru

Vyazkova Elizaveta Andreevna

Far eastern federal university, Vladivostok, Russia
E-mail: vyazkova.elizaveta@yandex.ru

Analytical methods of estimation of effectiveness of application of anti-turbulent additives

Abstract. The economy of many countries today needs to increase the share of oil and oil products consumption due to the growth of industrial activity. Modern trunk pipeline systems transport huge operate at the limit of their capacities. First of all, this is due to the existing restrictions on the pressure in certain sections of the main oil pipelines, which are limiting for the expansion of the capacity of the entire system. The task of increasing the capacity of pipelines involves the search for new solutions that do not involve increasing the pressure at the outlet from the oil pumping station, since at the current stage of the industry development this is impossible in a number of cases. In addition, there are tasks to optimize the operation of oil pipelines transporting oil from fields, since after the passage of peak loading such systems work with underload. Today, anti-turbulent additives become a means of achieving this goal. However, their application entails a number of concomitant tasks to determine the optimum concentration of the additive, as well as the effectiveness of its application, depending on the parameters of the oil pipeline system and anti-turbulence agents. The article presents the course of the conducted studies, the results of which were analyzed the main analytical methods for assessing the effectiveness of the use of polymeric additives to reduce hydraulic frictional resistance and based on these methods a software product was developed that allows estimating the reduction in pressure loss depending on the concentration of the antiturbulent additive. Calculations carried out with the help of the developed program confirmed the industrial exploitation data of a modern high-molecular anti-turbulent additive used in the East Siberia-Pacific Ocean oil pipeline system.

Keywords: polymeric additives; polyacrylamide; hydraulic resistance; flow; head loss; coefficient of friction; Toms effect; construction cost; polymer concentration; operating costs; anti-turbulent additives