

**ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫЕ ПРИСАДКИ К НЕФТИ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ  
ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В НЕФТЕПРОВОДАХ**

**Попов Д.В., Булатов В.Р., Малхасян К.А.**

Научный руководитель – профессор В.Н. Манжай

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

Трубопроводный транспорт нефти – комплексный процесс, требующий соблюдения ряда требований. Одно из главных требований – поддержание физико-химических свойств жидкого продукта в необходимых (заданных) пределах или изменение реологических характеристик перекачиваемой среды для повышения эффективности транспорта. Прогрессивным способом трубопроводного транспорта считаются технологии перекачки с минимальными затратами электроэнергии [1 - 3].

Одним из способов решения проблемы энергосбережения может быть использование добавок в минимальных количествах ( $1 - 10 \text{ г/м}^3$ ) к перекачиваемой нефти в виде полимерных присадок, уменьшающих гидравлическое сопротивление путем снижения турбулентности у стенки трубопровода, которые вносят значительный вклад в торможение потока. Добавки вызывают падение уровня турбулентности потока и подавляют поперечные пульсации скорости в разрезе сечения. Это сокращает потери энергии в виде теплоты в окружающую среду и снижает частоту возникновения турбулентных завихрений. У пограничного слоя стенки молекулы полимера, сосредоточенные по направлению потока, образуют структуру, напоминающую движущийся вместе с током чулок, препятствующий потерям теплоты в радиальном направлении. Они инертны по отношению к материалу стенки и не изменяют свойства продукта, в который вводятся.

Нефтяные присадки представляют собой тяжелые углеводородные полимеры, которые при вводе нескольких грамм на тонну продукта снижают коэффициент гидравлического сопротивления до 40 %. Снижение гидравлического сопротивления путем ввода полимера в турбулентный поток открыл в 1946 году английский химик Томс, который установил, что даже небольшая масса высокомолекулярного полимера ( $M \sim 1 \cdot 10^6$ ), введенная в турбулентный поток, снижает сопротивление течению. Многочисленные исследования других ученых в последующие годы показали практическую перспективность открытого эффекта.

Сейчас противотурбулентные присадки (ПТП) применяются обширно. Используют добавки различной массы, физико-химической природы и состава. Присадками могут быть поверхностно-активные вещества или различные полимеры. Уменьшение гидравлического сопротивления путем ввода присадок получило широкое распространение в нефтедобыче: при транспорте различных жидкостей, бурении, тушении пожаров, высокоинтенсивной резке и даже в биологии с медициной.

В трубопроводном транспорте нефти с применением ПТП также накоплен обширный опыт. Первой фирмой, которая провела промышленные испытания ПТП, стала Trans Alaska Pipeline System. В 1979 году на Трансаляскинском магистральном нефтепроводе (МН) для увеличения пропускной способности МН была применена присадка компании «CONOCO SPECIALTY PRODUCTS», представляющая раствор полиолефинов в углеводородном растворителе. У нас первые ПТП испытали в 1985 году на конечном отрезке МН Лисичанск – Тихорецк, а в 1991 году на МН Александровское – Анжеро-Судженск [4], в 1993 году – МН Тихорецк – Новороссийск [5]. На Томском нефтехимическом комбинате в 1991 году была получена первая отечественная присадка-гаситель турбулентности «ВИОЛ» (10 % раствор сополимера поли- $\alpha$ -олефина в гептане).

ПТП работают только при условии турбулизации потока. Например, введение в нефть присадки после станции подогрева, при прочих равных, увеличивает температурный уровень движущегося продукта (снижает тепловые потери): на входе во вторую станцию подогрева нефть имеет большую температуру по сравнению с бесприсадочной перекачкой. Таким образом, уменьшенные потери теплоты позволяют экономить на подводе тепловой энергии к рабочему телу. Проход через оборудование станции подогрева вызывает деструкцию присадки, поэтому на каждой новой станции вновь вводят ПТП. Ограничением для ввода может служить переход турбулентного режима потока в ламинарный режим, так как в нём присадка не активна.

Противотурбулентные присадки не следует путать с депрессорными присадками (ДП), которые уменьшают вязкость и температуру застывания, а также предельное напряжение сдвига. Перекачку высокопарафинистой нефти с ДП осуществляют в следующей последовательности: продукт подогревают до температуры плавления парафиновой фракции и одновременно вводят депрессорную присадку вместе с ПТП, снижающей потери гидравлические и теплоты. Лучший эффект дает применение специальных присадок. В России были созданы присадки ВЭС-503, ДН-1 являющиеся полимерными ПАВ. Многие компании использовали присадку ДН-1. ПАО «Транснефть-Север» за счёт её применения уменьшило напряжение сдвига почти в 11 раз, а пластическую вязкость вдвое и температуру застывания нефти с плюс  $7^\circ\text{C}$  до минус  $13^\circ\text{C}$ .

За рубежом популярны присадки «Paramins», компании «Exxo Chemical». Полимерные присадки применяют при температуре около  $65^\circ\text{C}$ , когда почти все парафины растворены. Эффект уменьшается, если температура нефти в момент добавления присадки ниже температуры застывания. До конца не ясно, как именно работают присадки. Есть множество теорий: например, есть предположение, что присадка обволакивает молекулы парафина, предотвращая его изменения и рост. Наиболее эффективно, но в то же время дорого – распределять присадку равномерно по телу продукта. Обработка лишь кольцевого пристеночного слоя сокращает расход присадки до 10 раз [6].

Добавки эффективны, если не разрушаются в турбулентном потоке и не растворяются в перекачиваемой жидкости. Разрушение ПТП происходит при взаимодействии потока, включающего ПТП, с местными сопротивлениями (узлы регулирования давления, задвижки, камеры пуска и приема диагностических и очистных средств), с насосным оборудованием и другими элементами трубопроводов. Моделирование транспорта нефти с учётом разрушения – сложный процесс, требующий использования комплексных компьютерных программ.

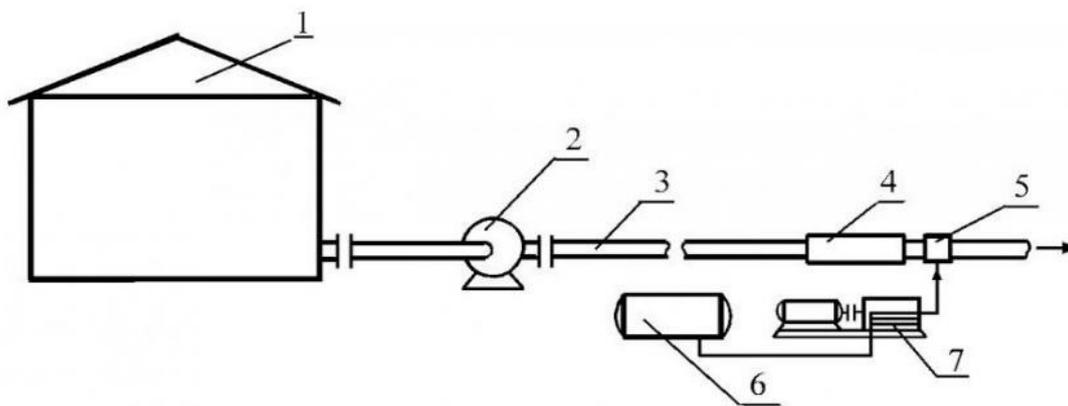
Использование присадок обеспечивает экономичный и эффективный транспорт нефти и нефтепродуктов в следующих ситуациях:

- увеличение пропускной способности без увеличения диаметра трубопровода;
- принципиальная невозможность применения труб большого диаметра из-за особенностей окружающей среды (прокладка морских труб, прокладка специфических биоматриц или арктических районах);
- необходимость форсированного повышения пропускной способности при недостатке времени на перестройку трубопроводов;
- необходимость сезонного или кратковременного повышения пропускной способности на месторождениях с нерегулярным дебетом;
- недостаток или невозможность выделения средств на строительство крупных или дополнительных трубопроводов;
- система с ограничениями по давлению и по производительности насосов сможет работать без установки дополнительных агрегатов.

Кроме того, применение ПТП при установленном расходе снижает давление в трубопроводе, что ведет к снижению аварийности, повышению надежности и снижению затрат на устранение возможных аварий.

Снижение затрат на перекачку за счет ввода ПТП определяется разностью между сэкономленной на привод насосов энергией (в рублях) и затратами на использование ПТП (в рублях). Затраты на использование ПТП включают эксплуатационные затраты (ремонт и обслуживание установок ввода ПТП) и стоимость самой присадки. Снижение затрат при увеличенной производительности из-за присадок может привести к возрастанию прибыли до 50% [1].

Способ транспорта нефти с введением депрессорной присадки в пристенный кольцевой слой изображен на рисунке 1.



**Рис.1** *Схема способа транспорта нефти с введением присадок*

Нефть из резервуара 1 подается насосом 2 в трубопровод 3, в котором локально нагревается: кольцевой пристенный слой достигает температуры плавления содержащихся в нефти парафинов и устройство 5 вводит раствор в кольцевой пристенный слой. Раствор присадки с нефтью готовится в емкости 6 и подают в устройство 5 дозировочным насосом 7.

#### Литература

1. Гареев М.М., Лисин Ю.В., Манжай В.Н., Шаммазов А.М./ Противотурбулентные присадки для снижения гидравлического сопротивления трубопроводов. СПб.: Недра. – 2013. – 228 с.
2. Гареев М.М., Несын Г.В., Манжай В.Н. Результаты ввода в поток нефти присадки для снижения гидравлического сопротивления // Нефтяное хозяйство. – 1992. – №10. – С. 30 – 31.
3. Иваненков, В. В. Опыт использования противотурбулентных присадок на магистральных нефтепроводах / В. В. Иваненков, О. В. Пименов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2006. – № 2. – 129 с.
4. Композиционные составы для снижения гидравлического сопротивления в системах трубопроводного сбора и транспорта продукции нефтяных скважин / Хуснуллин Р.Р.: диссертация – М.: ФГБОУ ВПО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 2015. – 149 с.
5. Несын Г.В., Манжай В.Н., Попов Е.А. и др. Эксперимент по снижению гидродинамического сопротивления нефти на магистральном трубопроводе Тихорецк-Новороссийск // Трубопроводный транспорт. 1993.- № 4. – С. 28-30.
6. Сдвижков, И.В. Особенности транспортировки быстро застывающих и высоковязких нефтей и нефтепродуктов по магистральным нефтепроводам: бакалаврская работа / Сдвижков Илья Владимирович. – Томск, 2016. – 103 с.