

Установлено, что стоимость проведения работ для устранения аварийного участка на рассматриваемых переходах газопровода через реки с учетом выполнения указанных монтажных работ превысила 5 раз стоимость разработки с учетом заносимости и балластировки.

Данные цифры озвучены для переходов трубопроводов через малые водотоки (до 15 метров). Для устранения аварийных участков через более широкие водные преграды потребуется гораздо больше затрат, не говоря уже о необходимости остановки перекачки продукта, что существенно увеличивает в целом стоимость устранения аварийных участков трубопроводов.

Таким образом, при учете интенсивности перемещения донных наносов и заложения дополнительных объемов для разработки траншеи с учетом заносимости исключается возможность отклонения трубопровода от проектного положения и возникновения аварийного участка при гораздо меньших затратах, предусмотренных на разработку с учетом заносимости траншеи.

Применение программы повышает точность расчета, исключая возможность нахождения трубопровода на глубине, не соответствующей проекту, а также риск возникновения аварийных участков на переходе через русла рек и выполнения дорогостоящих работ для их устранения.

Разработанный программный пакет применим не только для расчета объема разработки траншеи, но также используется для проверки принятых технических решений в документации субподрядной организации отделом экспертизы и разработки работ для группы проекта организации строительства (ПОС).

Внедрение программы показало, для выполнения трудоемкого расчета увеличивается скорость выполнения на 94 %, происходит сокращение трудозатрат в 16 раз.

#### Литература

1. ВСН 163-83 (Миннефтегазстрой) Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов).
2. ВСН 010-88 (Миннефтегазстрой) Строительство магистральных трубопроводов. Подводные переходы.
3. СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85\*.
4. СТО ГУ ГГИ 08.29–2009 Учет руслового процесса на участках подводных переходов трубопроводов через реки.

### ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ПРИСАДКИ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

К. И. Титков

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В данной работе рассмотрены вопросы, связанные с применением противотурбулентных присадок для изменения напорных характеристик трубопроводов. Снижение гидродинамического сопротивления с применением присадок с экономической точки зрения. Основные характеристики параметров присадки, влияющие на эффективность её действия.

В последнее время для снижения затрат на транспорт нефти и нефтепродуктов, а также для повышения рентабельности транспортных систем особо важно обеспечить повышения эффективности транспортной сети.

Проблему увеличения эффективности трубопроводного транспорта можно решить увеличением мощности силовых установок, используемых на насосных станциях. Однако это сопряжено с техническими трудностями и большим объемом капитальных вложений. В связи с этим большой интерес представляет использование противотурбулентных присадок на снижение гидродинамического сопротивления. Этот способ является более экономичным, для повышения пропускной способности нефтепровода. Вытянутая асимметричная форма молекул и большая молекулярная масса, являются важными характеристиками полимера, оказывающие влияние на гидравлическую эффективность присадок. В общем случае из многочисленных опытов доказано что, наиболее эффективна присадка, с достаточно узким молекулярно – массовым распределением и высокой молекулярной массой. Повышение концентрации ПТП выше предельного не приводит к снижению гидравлического сопротивления. Поэтому установлено, что для каждой ПТП существует своя предельная концентрация.

Обычно присадки вводятся в трубопровод сразу же после насосных агрегатов на насосных станциях. Эффективность присадки зависит от её растворимости в перекачиваемой жидкости, и способности препятствовать её разрушению в турбулентном потоке. Возможные факторы влияющие на эффективность эксплуатации присадок:

- 1) Турбулентность (в ламинарных потоках присадки неэффективны);
- 2) Вязкость;
- 3) Температура;
- 4) Диаметр трубопровода;
- 5) Содержание парафина и воды.

На сегодняшний день накоплен достаточный опыт применения ПТП. Определение эффективности противотурбулентных присадок производится в процессе опытно-промышленных транспортировок на магистральных нефте- и нефтепродуктопроводах. Для проведения данных испытаний необходимы затраты как времени, так и материальных ресурсов. Вместе с тем значительно проще проводить данные исследования в лабораторных условиях. Однако в этом случае возникает проблема достоверного переноса результатов

лабораторных экспериментов на промышленные условия. Кроме того, в настоящее время не решен ряд вопросов, связанных с применением противотурбулентных присадок на действующих трубопроводах, в том числе определение их концентрации для достижения заданного увеличения производительности перекачки и анализ изменения напора по длине трубопровода в процессе прямого и обратного замещения жидкости, содержащей ПТП.

Таким образом, использование ПТП в технологическом процессе перекачки нефти неизбежно ставит задачи выполнения расчетов стационарных и переходных процессов по модифицированным методикам как на этапе проектирования нефтепровода, так и на этапе их эксплуатации. Для успешного решения подобных задач прежде всего требуется совершенствование отраслевой нормативно – технической базы, определяющей методики и порядок проведения данных расчетов, а также освоения новых программных средств расчета гидравлических процессов, позволяющих в полном объеме моделировать влияние ПТП нефтеотдачу.

Растворение полимера в жидкости сопровождается ростом её вязкости и снижением текучести получаемых растворов. Но при введении полимерной присадки в турбулентный поток жидкости в цилиндрическом канале происходит увеличение объемного расхода полимерного раствора по сравнению с расходом маловязкого растворителя. Это явление было открыто Б. А. Томсом, и получило название эффект Томса. Несмотря на то, что явление было открыто более полувека назад, множество вопросов осталось открытыми. Но все же, в настоящее время противотурбулентные присадки находят практическое применение в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов [1-3].

Величина эффекта Томса характеризует энергетический выигрыш при перекачке в трубе единицы объёма жидкости с противотурбулентными добавками по сравнению с исходной жидкостью без растворенного в ней полимера. Гидравлическую эффективность ПТП (DR), выраженную в процентах, можно рассчитать по следующей формуле:

$$DR, \% = \frac{\xi_0 - \xi_\theta}{\xi_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\xi_0$  – коэффициент гидравлического сопротивления без добавки;  $\xi_\theta$  – коэффициент гидравлического сопротивления с добавкой.

Коэффициент эффективности присадки показывает долю снижения гидравлического сопротивления нефтепровода от добавления противотурбулентной присадки при его неизменной производительности. В настоящее время максимальная эффективность противотурбулентной присадки при значительной величине ее концентрации может достигать 60-70 %.

ПТП не меняют свойства жидкости, а являются составляющей частью движущегося потока, они эффективны только в условиях турбулентного потока.

В процессе исследований [4] установлен механизм действия противотурбулентных присадок: при добавлении полимера в поток жидкости его молекулы полностью раскручиваются и растягиваются потоком, в результате чего данный поток жидкости ламинаризуется. Незначительное разрушение присадки начинает происходить в процессе ее продвижения по нефтепроводу за счет подавления турбулентности потока, а также при прохождении раствора присадки через повороты и ответвления нефтепровода. При прохождении присадки через магистральный насосный агрегат раскрученные молекулы полимера полностью разрушаются, и на участке нефтепровода после нефтеперекачивающей станции «эффект Томса» не наблюдается. Присадка воздействует на турбулентность в переходной (буферной) зоне трубопровода.

Максимальная эффективность снижения гидравлического сопротивления будет наблюдаться, только после того, как полимерная добавка полностью заполнит трубопровод.

Применение противотурбулентных присадок позволяет: уменьшать давление в нефтепроводе при проведении ремонтных работ без снижения производительности; обеспечивать кратковременное или длительное повышение производительности нефтепровода для выполнения производственной программы; увеличивать пропускную способность лупинга при выводе в ремонт участка основного нефтепровода и наоборот. Таким образом, добавление противотурбулентных присадок прежде всего направлено на увеличение пропускной способности нефтепровода за счет уменьшения его гидравлического сопротивления. Снижение гидравлического сопротивления увеличивает эквивалентный диаметр нефтепровода, который, в свою очередь, влияет на удельный расход электроэнергии. Поэтому добавление противотурбулентных присадок можно рассматривать с точки зрения не только увеличения пропускной способности нефтепровода, но и создания условий для экономии электроэнергии.

На механизм действия противотурбулентных присадок оказывают влияние многие факторы: напряжение сдвига на стенке трубы, средний расход, динамическая скорость, температура, вязкость и термодинамические качества растворителя и среды [5]. Также стоит отметить свойства самого полимера, такие как размер молекул, молекулярная масса, гибкость молекулярной цепи, вязкоупругость молекулярных клубков и их ассоциатов, конформация в растворе.

Преимущества технологии введения противотурбулентных присадок:

- 1) Применение противотурбулентных присадок дает существенную экономию капитальных затрат за счет отказа от строительства дополнительных трубопроводов, мощности которых не будут востребованы после прохождения пика добычи.
- 2) Применение противотурбулентных присадок дает экономию затрат на электроэнергию для перекачки больших объемов нефти.

3) Применение противотурбулентных присадок на трубопроводах, работающих на предельном давлении, существенно снижает риск наступления аварии и экологических катастроф, а также предотвращает потери нефти.

#### Литература

1. Смолл С. Р. Добавки, снижающие сопротивление течения в трубопроводах // Нефть, газ и нефтехимия за рубежом. – 1983. - № 6. – С. 58-60.
2. 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.
3. Мастобаев Б. Н., Шаммазов А. М., Мовсумзаде Э. М. Химические средства и технологии в трубопроводном транспорте нефти. – М.: Химия, 2002. – 295 с.
4. Ерошкина, И.И. Влияние малых полимерных добавок на частоту пристенных турбулентных выбросов при течении жидкости в трубопроводе / И. И. Ерошкина и [др.] // Транспорт и хранение нефтепродуктов. - 2000. - № 4. - С. 15-18.
5. Жолобов В.В. К вопросу определения функциональной зависимости гидравлической эффективности противотурбулентных присадок от параметров транспортируемой среды / В.В. Жолобов, Д.И. Варыбок, В.Ю. Морецкий // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 4. – С. 52–57.

### ТЕПЛОБМЕН И СОПРОТИВЛЕНИЕ В ТЕРМИЧЕСКОМ НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ПЛОСКОЙ ТРУБЫ

И.Е. Чаплин

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов,  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

**Введение.** Физические свойства жидкости вследствие зависимости их от температуры изменяются во времени и по координатам в соответствии с изменением температуры. При малых разностях температур в потоке или слабой зависимости физических свойств от температуры эти изменения невелики. В таких условиях справедливы результаты, полученные в предположении о постоянстве физических свойств. Однако, если разности температур в потоке значительны, то изменение физических свойств с температурой оказывает существенное влияние по поля скорости и температуры, что представляет практический интерес. Так, например, профиль скорости при вязкостном течении капельной жидкости вследствие зависимости коэффициента вязкости от температуры уже не будет параболическим. Изменение профиля скорости влечет за собой и соответствующее изменение профиля температуры. При этом изменяется теплоотдача и сопротивление трения по сравнению с их значениями при постоянных физических свойствах. [1]

**Актуальность.** В большинстве технологических процессов, связанных с транспортировкой реологически сложных вязких сред в трубах и каналах, промышленных и энергетических устройствах широкого назначения распространены устойчивые и переходные процессы вихревой и тепловой природы. Прогноз данных течений нетривиален и требует детального анализа пространственных механизмов переноса импульса, массы и тепла. Для этого привлекаются полные системы уравнений соответствующих законов сохранения и их решение проводится на базе известных численных методов по схемам, которые должны отличаться высокой эффективностью [2]. В оценке точности численного решения такой задачи повышается роль аналитического метода и экспериментальных данных. По согласию этих данных с расчетом можно судить о степени доверия алгоритму в предсказании процессов в особых зонах течения и надеяться на внедрение более дешевых аналитических методов в процессы оптимального управления и транспорт вязких сред. В связи с этим разработка эффективных аналитических методик расчета теплообмена в предельных и устойчивых процессах ламинарного течения углеводородных сред с минимумом эмпирической информации о динамике явлений чрезвычайно полезная работа.

**Целью** данного исследования является построение решения задачи о вязкостно-инерционном течении капельной углеводородной среды (бензина) в плоской трубе.

Рассмотрим задачу о движении бензина и теплообмене в термическом начальном участке плоской трубы. При этом будем учитывать зависимость коэффициента вязкости от температуры, полагая остальные физические свойства постоянными. Предполагая постоянство плотности, автоматически исключается из рассмотрения влияние свободной конвекции.

При решении задачи примем следующие допущения:

- 1) толщина теплового пограничного слоя  $\Delta$  существенно меньше ширины трубы  $h$ ;
- 2) течение жидкости и процесс теплообмена стационарны;
- 3) жидкость несжимаема;
- 4) во входном сечении теплообменного участка температура жидкости постоянна по сечению и равна  $T_0$ ;
- 5) температура внутренней поверхности стенки трубы на участке теплообмена постоянна и равна  $T_w$ ;
- 6) количество тепла, выделяющегося вследствие диссипации энергии, пренебрежимо мало;
- 7) нет внутренних источников тепла.

Сформулированной задаче отвечает следующая система уравнений [1]: