

который для данного случая перезащиты оказался равным 20 %. Полученный результат показывает, что 80 % электрической энергии затрачены впустую. Эта энергия была затрачена на протекание катодного разложения воды с посадкой адатомов *Надс* на защищаемой поверхности. Об этом нам было известно сразу же после задания режима катодной защиты. Таким образом, используя предлагаемый способ, это обстоятельство можно и необходимо учитывать уже на стадии наладки и настройки режимов катодной защиты подземных стальных трубопроводов [7, 8, 9, 10].

Заключение Внедрение новых методов в практику эксплуатации подземных катодно защищаемых трубопроводов внесет значительный вклад в повышение надежности трубопроводного парка страны. Предлагаемый критерий контроля режимов катодной защиты впервые позволяет с достаточной для практики точностью количественно определять остаточную скорость коррозии и время до появления стресс-коррозионных трещин при заданном режиме катодной защиты в диапазоне допустимых рабочих давлений транспортируемого продукта, что является решением крупной научной проблемы, имеющей важное практическое значение для повышения надежности эксплуатации трубопроводных систем транспорта нефти и газа.

Литература

1. ГОСТ 5272-50 Коррозия металлов. Терминология.
2. Томашев Н.Д. Теория коррозии металлов. Металлургиздат, 1952. – 92 с.
3. Акимов Г.В. Теория и методы исследования коррозии металлов: Изд. АН СССР, 1945. – 46 с.
4. Акимов Г.В. Основы учения о коррозии и защите металлов: Металлургиздат, 1946. – 145 с.
5. Клинов И. Я. Коррозия химической аппаратуры и коррозионностойкие материалы: Машгиз, 1954. – С. 38-39.
6. Бахвалов Г.Т., Турковская А. В. Коррозия и защита металлов: Металлургиздат, 1947. – 160 с.
7. Притула В.А. Защита подземных трубопроводов от внешней коррозии: Гостоптехиздат, 1948.
8. Притула В.А., Катодная защита трубопроводов и резервуаров: Гостоптехиздат, 1950. – С. 61-62
9. Спирина А.А., Кальман В.С., Саламаде М.М., Цекун Н.А. Методика электрических исследований коррозионного состояния трубопроводов и кабелей: Азнефтеиздат, 1954. – 54 с.
10. Спирина А.А., Цекун Н.А., Саламаде М.М. Электрическая защита подземных металлических сооружений от коррозии: Азнефтеиздат, 1954. – С.20-31.

СНИЖЕНИЕ ТРЕНИЯ В ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКАХ ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ: ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ И ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

П. О. Дедеев

Научный руководитель, профессор С. Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В трубопроводном транспорте нефтепродуктов для снижения гидравлического трения применяются противотурбулентные присадки уже более 40 лет, однако вопрос о корректном физико-математическом описании происходящего эффекта ламинаризации потока остаётся открытым. Необходимость строгого физико-математического описания эволюции присадок в вязких средах диктуется разрывом между разрабатываемыми математическими моделями эффекта ламинаризации и инженерными попытками описать происходящие процессы. Поэтому *цель работы* состоит в систематизации результатов отечественных и зарубежных публикаций для определения степени изученности проблемы ламинаризации потоков полимерами. В работе проводится анализ экспериментальных результатов, и предоставляются сведения о разрабатываемых математических моделях.

Экспериментальные исследования и физико-математические модели ламинаризирующих течений

В результате добавления высокомолекулярных полимерных добавок (присадок) потоку можно придать ламинарные свойства, тем самым перераспределить энергию в течении, уменьшив гидравлическое трение. В 1948 году Томс наблюдал 30% снижение гидравлического трения при добавлении 30 г/т полимера [7]. Впоследствии работы Дж. Л. Ламли [5], П. С. Вирка [8] и прочих позволили получить новое понимание процесса, однако возникли сложности при попытках описать универсальным способом взаимодействие полимера с перекачиваемой средой

Проведённые исследования позволяют заявить, что течение, осложнённое действием высокомолекулярных присадок, обладает следующими особенностями, важными для корректного моделирования [1-10]: 1) Ламинаризация потока полимерами наблюдается преимущественно в турбулентном режиме; 2) У эффекта ламинаризации наблюдается асимптота; 3) С ростом молекулярного веса полимера наблюдается увеличение эффективности присадки; 4) Смешение полимеров с разным молекулярным весом приводит к эффекту ламинаризации в такой степени, с которой бы ламинаризировал поток полимер с большим молекулярным весом; 5) Эффект снижения турбулентного трения зависит от растворителя: чем лучше среда растворяет полимер, тем ниже концентрация для достижения требуемого эффекта; 6) Существуют предельные длины молекул и предельные молекулярные массы, ниже которых эффекта снижения трения не наблюдается; 7) Одиночные или недлинные цепочки полимеров также могут вызывать падение трения; 8) С усложнением структуры молекулы улучшается производительность присадки.

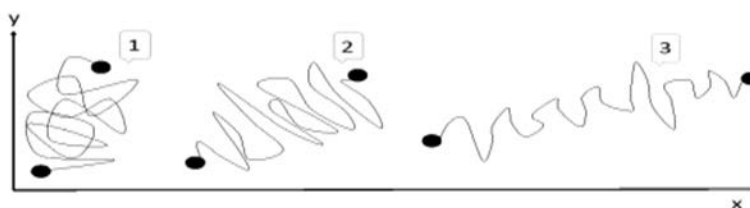


Рис. 1. Поведение полимерной цепочки в трубопроводе. Согласно позициям: 1 – ламинарный поток, присадка только добавлена в канал; 2 – турбулентный поток; 3 – турбулентный поток, ламинаризованный присадкой

Широко распространённой теорией действия присадки стала “dumbbell model”, физическая суть которой в том, что цепочка полимера в потоке представляется собой “пружинку”, сжатую при ламинарном режиме течения (рисунок 1, позиция 1) [1-2, 4-6, 9-10]. При возрастании скорости течения она вытягивается (рисунок 1, позиция 2 и 3), из-за чего нормальные к стенке трубопровода турбулентные вихри гасятся. Гашение энергии происходит в буферной зоне потока, где кинетическая энергия вихря не максимальна, в результате чего происходит: распад вихря; перераспределение кинетической, потенциальной и диссипативной энергий потока.

Первоначальные попытки описать действие ПТП предпринимались на основе предположения о логарифмическом виде профиля скорости Ньютоновской жидкости в ламинарном режиме течения (3) путём модификации известной логарифмической зависимости [10]. Как показали опыты, модификация лишь добавлением члена ΔB не имеет места, так как коэффициент наклона функции тоже изменяется (рисунок 2, изображение справа).

$$u^+ = 2.5 \ln y^+ + 5.5 + \Delta B \quad (3)$$

$$u^+ = 53.9 \log_{10} y^+ - 65$$

Принято считать, что для гладких труб достаточной является неявная формула (12). Аналогично [3].

$$\frac{1}{\sqrt{\zeta}} = 2 \lg (\operatorname{Re} \sqrt{\zeta}) - 0.8 \quad (4)$$

Однако для использования в расчетах действия ПТП необходимо использовать модификацию вышеперечисленных уравнений, например, в следующем виде [10].

$$\frac{1}{\sqrt{\zeta}} = 2 \lg e \cdot \psi(c) \ln (\operatorname{Re} \sqrt{\zeta}) - 0.8 \quad (5)$$

Можно заметить, что в такой формулировке для каждого нового типа раствора “полимер-жидкость” необходимо проводить новое испытание, что может послужить достаточно затратной процедурой. Тем не менее, транспортирующие организации проводят промышленные испытания присадок для определения возможности их использования, поэтому такой подход не лишен своей привлекательности для инженерных кадров. В то же время, вышеперечисленные уравнения заданы неявно, что усложняет проведение расчетов и визуализацию результатов.

Последующее изучение проблемы позволило сформулировать закономерности в ламинаризирующихся средах на моделях: dumbbell model, Oldroyd-B model [6]. Первая является линейной математической абстракцией длинной полимерной цепочки, к концам которой приложены инерционные силы потока – см. рисунок 2 левый.

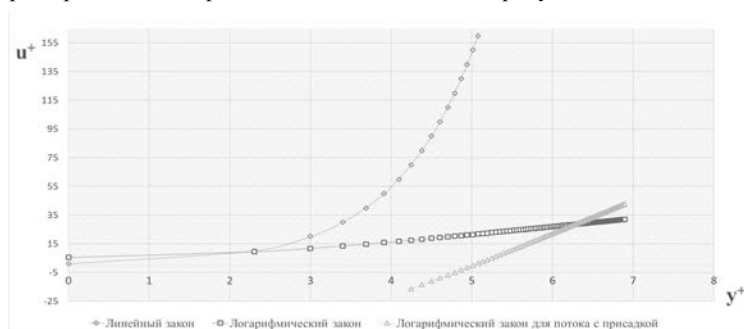
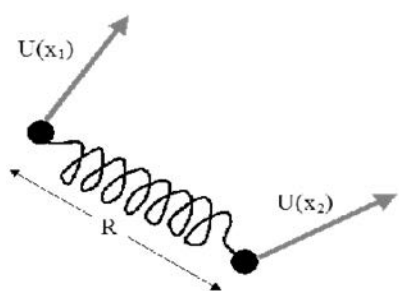


Рис. 2. Слева – приближение к моделированию поведения полимерной цепи в dumbbell model
Справа – Закон стенки для потока без присадки и потока с ПТП (y^+ отложен в логарифмической шкале)

Линейная модель впоследствии была заменена на второй тип модели, Oldroyd-B model. Уравнение деформации полимерной цепочки выражено через тензор σ и записано в виде:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + (u \cdot \nabla) u = -\nabla p + \nu \Delta u + \frac{2\eta \nabla \cdot \sigma}{\tau} + f \quad (1)$$

Уравнение (1) необходимо дополнить законом сохранения импульса, обычно записываемым в виде:

$$\frac{\partial \sigma}{\partial t} + (u \cdot \nabla) \sigma = (\nabla u)^T \cdot \sigma + \sigma \cdot (\nabla u) - \frac{2}{\tau} (\sigma - \tau) \quad (2)$$

В уравнении (2) ν – кинематическая вязкость среды, а η – вклад вязкости полимера в общую вязкость ν_{Σ} . Заметим, что в данном виде приведённые уравнения (1) – (2) полностью описывают динамику полимерной присадки и потока сырья. Вышеперечисленные модели работают в области не критичных растяжений.

Заключение

Библиографический анализ показывает, что на настоящий момент нет аналитических зависимостей, приемлемых для инженерного расчета: выражения либо слишком сложны для моделирования существующих систем и требуют значительных вычислительных мощностей, либо не отражают всей полноты и сложности анализируемой задачи. Исходя из этой проблемы, интерес представляют эмпирические и полуэмпирические зависимости, которые на данный момент успешнее справляются с задачами прогнозирования эффекта воздействия ПТП. Кроме этого: необходимо отметить нужду в проведении точных экспериментов (методом Доплеровской анемометрии) для УВ сырья с фиксацией ряда параметров, упущенных при проведении подобных экспериментов; проведение численного эксперимента (DNS, LES) позволит сверить экспериментальные данные с данными математической модели и вывести эмпирические упрощения и методику инженерного расчета; нетривиальными выступают вопросы уяснения роли влияния градиента температуры, допущения о многофазности сред в определяющих уравнениях при моделировании течений. Всё вышеперечисленное является предметом задач дальнейших исследований.

Литература

1. Abdul-Hadi Ali A. and Khadom Anees A. Studying the Effect of Some Surfactants on Drag Reduction of Crude Oil Flow // Chinese Journal of Engineering, vol. 2013, Article ID 321908, 6 pages, 2013.
2. Jubran B. A., Zurigat Y. H. & Goosen M. F. A. Drag Reducing Agents in Multiphase Flow Pipelines: Recent Trends and Future Needs // Petroleum Science and Technology, 2015, 23:11-12, 1403-1424.
3. Kharlamov S. et al // Suppression of flow pulsation activity by relaxation process of additive effect on viscous media transport 2015 IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 27 012061.
4. Karami H.R., Mow la D., Investigation of the effects of various parameters on pressure drop reduction in crude oil pipelines by drag reducing agents // Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics 177–178 (2012) 37–45.
5. Lumley J.L., Drag reduction by additives // Annu. Rev. Fluid Mech. 1 (1969) 367–384.
6. Musacchio S., Vincenzi D. Deformation of a flexible polymer in a random flow with long correlation time // J. Fluid Mech. 670 326 (2011).
7. Toms B.A., Some observation on the flow of linear polymer solution through straight tubes at large Reynolds number, Proceedings of the 1st International Congress on Rheology, vol. 2, North Holland, Amsterdam, The Netherlands, 1948, pp. 135–141.
8. Virk P. S. Drag reduction fundamentals // AIChE Journal Volume 21, Issue 4 July 1975 Pages 625–656.
9. Wang Yi, Yu Bo, Zakin Jacques L., and Shi Haifeng Review on Drag Reduction and Its Heat Transfer by Additives // Advances in Mechanical Engineering Volume 2011, Article ID 478749, 17 pages.
10. Witold Brostow Drag reduction in flow: Review of applications, mechanism and prediction // Journal of Industrial and Engineering Chemistry 14 (2008) 409–416.

СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОЙ РАБОТЫ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. В. Демченко

Научный руководитель, доцент Н. А. Антропова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Подводные трубопроводы, запроектированные и построенные с учетом всех факторов, неблагоприятно воздействующих на их работоспособность, могут находиться в эксплуатации десятки лет, сохраняя при этом свою работоспособность. Однако большое число подводных переходов через реки и другие внутренние водоемы выходят из строя (разрушаются или приходят в состояние, требующее немедленного ремонта) раньше окончания эксплуатационного срока, несмотря на двойное и даже тройное резервирование.

На сегодняшний день обеспечение безопасной работы подводных переходов магистральных трубопроводов является одной из наиболее актуальных проблем, что связано с большим количеством водных преград на территории Российской Федерации, пересекаемых магистральными нефте и газопроводами. К примеру, магистральный газопровод «Сила Сибири» на участке Чаянда-Ленск (км 0-208) пересекает 48 водных преград с различной шириной, глубиной, скоростью течения и глубиной эрозии [3]. Помимо этого необходимость тщательного учета факторов, влияющих на надежность и работоспособность подводных переходов, обуславливают сложность строительства, эксплуатации и ремонта подводных трубопроводов, а также ущерб, наносимый окружающей среде вследствие аварий и утечек транспортируемых продуктов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что около 80% всех аварийных ситуаций возникает в результате размыва грунта вокруг труб, что приводит к образованию оголенных участков трубопровода, подвергающихся силовому воздействию потока. Оставшиеся 20% разрушений приходятся на такие факторы, как коррозия, механические повреждения трубопровода, дефекты труб и конструкций, не выявленные в процессе строительства и др.