

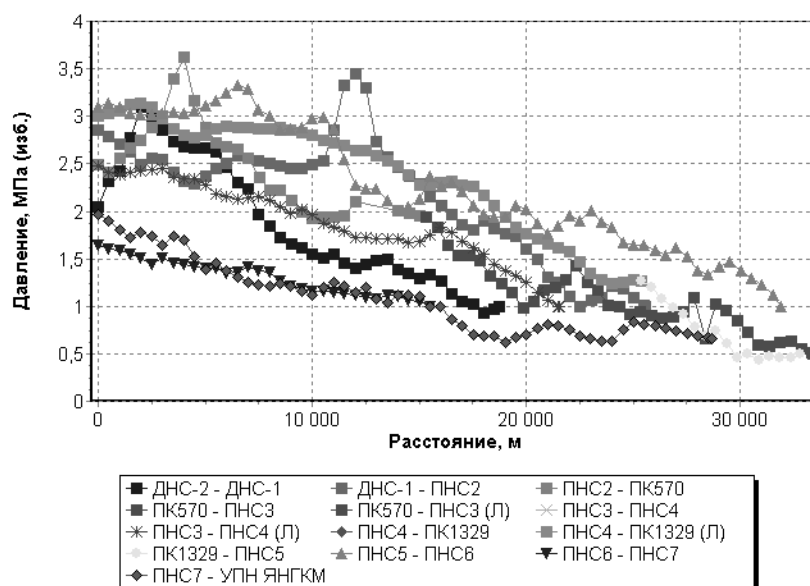


Рис.2. Падение давления по длине трубопровода

Проведя гидравлический расчет, получаем график падения давления по длине трубопроводов. Расчет произведен для максимального давления нагнетания существующих передвижных насосных установок (ПНУ) с давлением до 32 кгс/см². Из графика можно сделать вывод, что мощности ПНС, установленные по всей длине проектируемого трубопровода, достаточно для перекачки нефти. Объем перекачиваемой нефти на данном этапе – 760 тыс. тн/год.

Таким образом, результаты расчета, проведенного в PIPESIM, подтверждают возможность работы исследованного трубопровода при максимальном объеме перекачки. Это дает основания утверждать о том, что программный комплекс PIPESIM может использоваться в аналогичных расчетах проектируемых и существующих нефтепроводов.

Литература

1. Антипов В.Н. Утилизация нефтяного газа. М.: Недра. – 1983. – 160 с.
2. Schlumberger PIPESIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.slb.ru/sis/pipesim/ (дата обращения 5.02.16).

НАВОДОРОЖИВАНИЕ ФЕРРИТНО-ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ В ПРОЦЕССЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Е. А. Гончаров

Научный руководитель, доцент А. В. Вережкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Коррозионное растрескивание трубопроводов под напряжением (стресс-коррозия) в настоящее время является основной причиной аварийных ситуаций преимущественно на магистральных газопроводах, так как транспорт газа осуществляется при более высоких давлениях, по сравнению с магистральными нефтепроводами. В последние пятнадцать лет аварии из-за коррозионного растрескивания металла труб под напряжением происходят на газопроводах больших диаметров и в нашей стране. За период 1986-1999 г.г. в СССР и России произошло 73 аварии по этой причине на газопроводах предприятия «Тюментрансгаз», «Уралтрансгаз», «Севергазпром», «Баштрансгаз», «Сургут-газпром» «Волготрансгаз», «Пермтрансгаз», «Лентрансгаз», «Югтрансгаз», «Томсктрансгаз». За последние пять лет число разрушений газопроводов по причине стресс-коррозии составило 82 % от всех аварий, произошедших в результате наружной коррозии, причем 65 % газопроводов диаметром 1420 мм. Все случаи коррозионного разрушения под напряжением были зарегистрированы на катоднозащищаемых трубопроводах, имеющих значение защитного потенциала с омической составляющей от 1,2 до 3,5 В по м.с.э. [1].

Коррозией металлов называется разрушение их поверхности в результате окисляющего химического или электрохимического воздействия окружающей среды. Иногда так же называют и сам результат действия коррозии, т.е. разрушение металла. Поэтому для разграничения обоих понятий рекомендуется применять для

самого процесса термин «коррозионный процесс», а для результата процесса термин «коррозионное разрушение». Иногда под этим термином неправильно подразумевают продукты коррозии [2, 3].

Коррозию относят к поверхностным явлениям и классифицируют по тем изменениям, которые происходят с поверхностью материала в результате протекания процесса коррозии. При взаимодействии всей поверхности материала с окружающей средой наблюдается общая или сплошная коррозия, при взаимодействии части поверхности — местная или локальная коррозия. Принято различать два вида общей коррозии. При равномерной коррозии вся поверхность металла равномерно разъедается внешней средой без изменений в топографии поверхности. К такой коррозии, например, относится коррозия углеродистой стали в растворах серной кислоты (рис. 1, а). Второй тип общей коррозии — неравномерная коррозия, когда поверхность металла под слоем продуктов коррозии носит «изрытый» характер, т. е. на поверхности возникают места более глубоких повреждений — коррозионные каверны (например, коррозия углеродистой стали в морской воде — рис. 1, б).

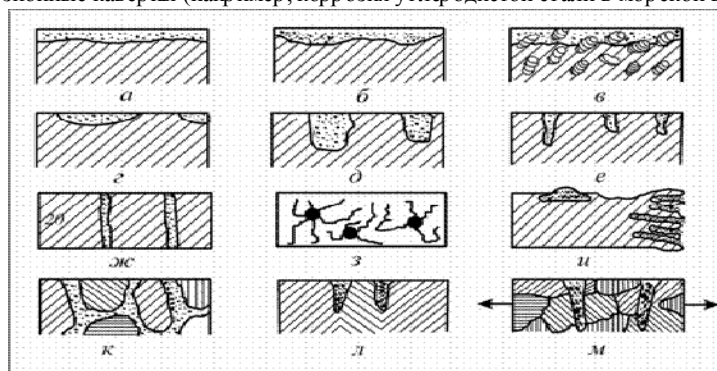


Рис. 1. Виды коррозионных повреждений металлов и сплавов:

а–в) общая коррозия: а) равномерная коррозия, б) неравномерная коррозия, в) избирательная коррозия; г–м) местная коррозия: г) коррозия пятнами, д) язвенная коррозия, е) питтинговая коррозия, ж) сквозная коррозия, з) нитевидная коррозия, и) подповерхностная коррозия, к) межкристаллитная коррозия, л) ножевая коррозия, м) транскристаллитное коррозионное растрескивание

К неравномерной коррозии относится структурно-избирательная коррозия, когда одна из фаз или структурных составляющих сплава растворяется с большей скоростью, чем остальные, например процесс обесценивания латуни (рис. 1, в) [4, 5].

На основе выполненных экспериментальных и теоретических исследований разработан аппаратно-программный комплекс «Магистраль», рис. 2.

Аппаратно-программный комплекс «Магистраль» позволяет в трассовых условиях количественно определять скорость остаточной коррозии и степень наводороживания стенки трубы при различных потенциалах катодной защиты подземных стальных трубопроводов. Прибор содержит коррозионно-измерительный зонд и измерительный модуль. Измерительный модуль содержит матричный дисплей, трёхкнопочный интерфейс, кабель для подключения к сенсору. Прибор позволяет производить измерение, хранение в памяти и перегрузку в базовый компьютер следующих данных:

- плотность предельного тока по кислороду в толще грунта, A/m^2 ;
- максимально возможную скорость коррозии трубопровода в конкретных условиях прокладки в отсутствие катодной защиты, мм/год;
- плотность тока катодной защиты, A/m^2 ;
- остаточную скорость коррозии трубопровода при различных потенциалах катодной защиты, мм/год;
- интенсивность электролитического наводороживания стенки трубопровода при заданном режиме катодной защиты, $cm^3/100\text{ г}$.



Рис. 2. Аппаратно-программный комплекс «Магистраль»

В процессе промышленной апробации аппаратно-программного комплекса «Магистраль» коррозионным испытаниям подвергали две партии короткозамкнутых образцов, изготовленных из трубной стали 17ГС. В обеих партиях было набрано по восемь образцов. Образцы помещали в песчаноторфяной грунт с влажностью, близкой к его полному влагонасыщению. Плотность предельного тока по кислороду у верхней образующей трубопровода составляла $5,2 \text{ мкА/см}^2$. Затем всю партию короткозамкнутых образцов расположили по окружности трубопровода Ду 1220 мм на равном расстоянии друг от друга и подключили к катодной защите трубопровода. Вторую партию короткозамкнутых образцов также расположили по окружности трубопровода Ду 1220 мм на равном расстоянии друг от друга, но к катодной защите трубопровода не подключали. Режим катодной защиты первой партии образцов с помощью подключенного зонда выбирали таким образом, чтобы плотность тока катодной защиты на рабочем электроде была равна плотности предельного тока по кислороду. Это условие реализуется при потенциале катодной защиты $-0,75 \text{ В}$ по м.с.э. Образцы подвергали коррозионным испытаниям в течение 240 час. После коррозионных испытаний образцы извлекали из грунта и весовым методом определяли их скорость коррозии. Образцы взвешивали на аналитических весах WA-31 с точностью до $0,1 \text{ мг}$. Остаточная скорость коррозии образцов, находящихся под катодной защитой, составила $0,0063 \pm 0,0011 \text{ г/м}^2 \text{ час}$, что соответствует плотности коррозионного тока, равной $0,6 \text{ мкА/см}^2$. У свободных образцов, неподключенных к катодной защите, скорость коррозии составила $0,043 \pm 0,009 \text{ г/м}^2 \text{ час}$, что соответствует плотности коррозионного тока $4,0 \text{ мкА/см}^2$ [6].

Затем с первой партией короткозамкнутых образцов на этом же участке трассы, в этом же грунте повторили коррозионные испытания при условии недостаточной катодной защиты. На образцах, находящихся под катодной защитой, ток катодной защиты установили равным половине предельного тока по кислороду на рабочем электроде зонда. При этом, за счет эффекта саморегулирования тока катодной защиты, плотность тока катодной защиты на испытуемых образцах устанавливалась также равной половине предельного тока по кислороду, что контролировали с помощью цифрового миллиамперметра, включаемого поочередно в цепь каждого короткозамкнутого образца. Режим катодной защиты, когда плотность тока катодной защиты на образцах равнялась половине плотности предельного тока по кислороду, был реализован при потенциале катодной защиты минус $0,63 \text{ В}$ по м.с.э. Коррозионные испытания, так же как и в первом случае, вели в течение 240 часов. Затем образцы извлекали из грунта и определяли остаточную скорость коррозии по той же методике, что и в первой серии коррозионных испытаний. В этом случае наблюдали более значительный разброс экспериментальных результатов. Остаточная скорость коррозии образцов составила $0,0131 \pm 0,061 \text{ г/м}^2 \text{ час}$, что соответствует плотности коррозионного тока $1,3 \text{ мкА/см}^2$. Остаточная скорость коррозии на фоне увеличившегося разброса экспериментальных результатов пропорционально увеличилась также в два раза. То есть, величину защитного тока, по сравнению с предельным по кислороду уменьшили в два раза, соответственно остаточная скорость коррозии возросла в два раза. Степень катодной защиты в рассматриваемом случае составляет: $Z = (4,0 - 1,3) / 4,0 = 0,675$ (рассчитана по убыли массы образцов); $Z = (5,2 - 2,6) / 5,2 = 0,5$ (рассчитана по предлагаемому способу).

Сопоставление результатов по степени катодной защиты образцов из трубной стали показывает удовлетворительную сходимость. Однако у предлагаемого способа есть очень существенное преимущество: степень защищенности стальных образцов от почвенной коррозии мы знали сразу же после задания режима катодной защиты. Такую информацию не может дать ни один из существующих в настоящее время в нашей стране и за рубежом способов определения эффективности катодной защиты подземных стальных трубопроводов.

С этой же партией образцов в этом же грунте реализовали перезащиту. Режим катодной защиты образцов усиливали до тех пор, пока плотность тока катодной защиты на рабочем электроде зонда не превысит плотность предельного тока по кислороду в семь раз. Эта ситуация реализуется при потенциале катодной защиты $-1,25 \text{ В}$ по м.с.э. По истечении 240 час образцы извлекали из грунта и определяли остаточную скорость коррозии. В этом случае остаточная скорость коррозии составила $0,0057 \pm 0,0018 \text{ г/м}^2 \text{ час}$, что соответствует плотности коррозионного тока $0,56 \text{ мкА}$. Наглядно видно, что остаточная скорость коррозии в этом случае перезащиты осталась практически той же, что и в случае, когда плотность тока катодной защиты была равна плотности предельного тока по кислороду. Но при этом режиме величина защитного тока в семь раз больше предельного по кислороду, то есть достигнуто пренебрежительно малое увеличение степени катодной защиты, а электроэнергии затратили в семь раз больше. В этом случае определяем коэффициент полезного использования тока катодной защиты:

$$\eta = \frac{K_{\max} - K_{\text{ост}}}{q_{\text{к.з}}} \cdot 100\% = \frac{0,043 - 0,0057}{1,042 \cdot 0,26} \cdot 100\% = 13,77\%,$$

(рассчитана по убыли массы образцов); $\eta = 5,2 / 26 \cdot 100\% = 20\%$ (рассчитана по предлагаемому способу).

Несовпадение результатов рассчитанных коэффициентов полезного использования тока катодной защиты по убыли массы образцов и по измеренной плотности тока катодной защиты и плотности предельного тока по кислороду связано с погрешностью определения остаточной скорости коррозии, так как убыль массы образцов за время коррозионных испытаний практически совпадала с убылью массы образцов в процессе подготовки образцов к взвешиванию после коррозионных испытаний.

Анализ режима катодной защиты проведем на основе коэффициента полезного использования тока катодной защиты на основе сопоставления предельного тока по кислороду и плотности тока катодной защиты,

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.