

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КАВИТАЦИОННО-ВИХРЕВЫХ
ВОЗДЕЙСТВИЙ НА СТЕПЕНЬ ЗАЩИТЫ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ**
STUDY OF CAVITATION-VORTEX IMPACTS ON CORROSION INHIBITORS
PROTECTION EFFICIENCY

И. Ф. Хафизов, О. Д. Халикова, А. С. Килинбаева, Р. Р. Каримов

I. F. Hafizov, O. D. Khalikova, A. S. Kilinbaeva, R. R. Karimov

Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа

*Ключевые слова: магистральный нефтепровод; кавитация; кавитационно-вихревое воздействие;
коррозия; скорость коррозии; ингибитор коррозии*

Key words: main oil pipeline; cavitation; vortex impact; corrosion; corrosion rate; corrosion inhibitor

В настоящее время на территории России эксплуатируется 350 тыс. км промышленных трубопроводов. Ежегодно на нефтепромышленных трубопроводах происходит около 50–70 тыс. отказов. 90 % отказов являются следствием коррозионных повреждений. Из общего числа аварий 50–55 % приходится на долю систем нефтесбора и 30–35 % — на долю коммуникаций поддержания пластового давления. 42 % труб не выдерживают пятилетней эксплуатации, а 17 % — даже двух лет. На ежегодную замену нефтепромышленных сетей расходуется 7–8 тыс. км труб или 400–500 тыс. т стали [1].

Наиболее прогрессивный способ перемещения и транспортировки нефти на большие расстояния — по трубопроводам. Трубопроводы обеспечивают ритмичную поставку нефтепродуктов потребителю независимо от географических, климатических и других условий. В настоящее время на трубопроводы приходится 90 % всей транспортировки нефти, а количество транспортируемых по трубам нефтепродуктов составляет только 31 %.

Большую пожарную опасность представляют магистральные нефтепродуктопроводы. При авариях на магистральных трубопроводах транспортируемая по ним нефть или нефтепродукты могут растекаться на значительные расстояния. Выделяющиеся при этом пары, распространяясь по окружающей территории, могут воспламениться и привести к пожару. Серьезную опасность представляют работы по ликвидации аварий на трассах магистральных нефтепродуктопроводов. Источниками воспламенения в этом случае могут быть проведение ремонтных сварочных работ, курение, применение открытого огня, подъезд на транспорте с двигателями внутреннего сгорания непосредственно к месту разлива нефтепродуктов, использование искрообразующего инструмента и др. [2].

Применение ингибиторов коррозии для магистральных нефтепроводов. Ингибиторы коррозии — это наиболее технологичный и эффективный способ борьбы с коррозией нефтедобывающего оборудования, в связи с этим они нашли широкое применение в нефтяной и газовой промышленности.

Ингибиторами коррозии (ИК) называют химические соединения, которые, присутствуя в коррозионной системе в достаточной концентрации, уменьшают скорость коррозии без значительного изменения концентрации любого коррозионного реагента. Ингибиторами коррозии могут быть и композиции химических соединений. Содержание ингибиторов в коррозионной среде должно быть небольшим.

Действие ингибиторов коррозии обусловлено изменением состояния поверхности металла вследствие адсорбции ингибитора или образования с катионами металла труднорастворимых соединений. Защитные слои, создаваемые ингибиторами коррозии, всегда тоньше наносимых покрытий. Ингибиторы коррозии могут действовать двумя путями: уменьшать площадь активной поверхности или изменять энергию активации коррозионного процесса.

Ингибиторы для защиты от коррозии используются в нефтегазовой отрасли с 1940-х годов. Ингибиторы чаще всего выражаются в частях на миллион: обычно от 15 до 50 граммов на тонну жидкости. Системы промышленных трубопроводов похожи на ветви дерева: они расходятся в разных направлениях из одной точки. Поэтому добавление ингибитора на входе в трубопровод позволяет защитить его по всей длине на расстоянии до нескольких сотен километров. На рис. 1 видно как влияет добавление ингибитора коррозии на внутреннюю поверхность труб [3, 4].

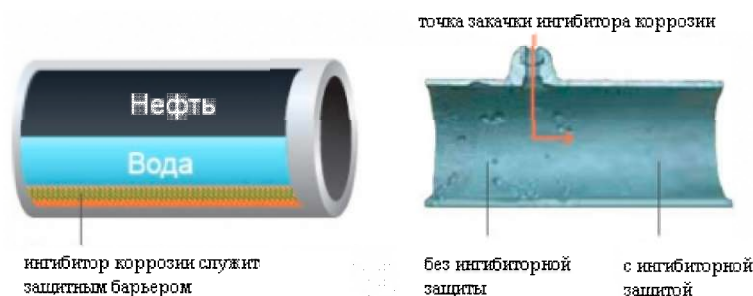


Рис. 1. Влияние ингибитора коррозии на внутреннюю поверхность труб

К сожалению, анализируя рынок сырьевой продукции, достаточно сложно подсчитать общие объемы производства данных химических веществ, необходимых для приготовления ингибиторов коррозии. В настоящее время используется $\approx 15\text{--}17$ тыс. азотсодержащих соединений (различных аминов, имидозалинов) и ≈ 3 тыс. фосфоросодержащих соединений. За последние годы сильного роста производства данных веществ не наблюдалось, и производство оставалось на уровне $5\text{--}7\%$ в год.

В настоящее время в России существует несколько компаний, производящих сырье: ОАО «Нижнекамскнефтехим», ОАО «Казаньоргсинтез», ОАО «Синтез-ОКА», ОАО «Уралхимпласт», ЗАО «Каустик», ОАО «Химпром». Как отмечают специалисты данных компаний, очень часто в состав ингибиторов коррозии входят отходы химической и нефтехимической промышленности.

Технология производства (синтеза) ингибиторов коррозии достаточно проста. У каждой конкретной марки есть рецептура, то есть процентное содержание каждого компонента в смеси. По технологии все компоненты смешиваются вместе с растворителем в реакторе с мешалкой. Основные сложности возникают с разработкой более эффективных и более экономичных ингибиторов коррозии.

Влияние кавитации на скорость коррозии. Для повышения степени защиты ингибитора коррозии были проведены исследования с применением кавитационно-вихревых воздействий. Что же такое кавитация и как она работает?

Явление кавитации известно в науке и технике уже больше сотни лет. Кавитация — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить либо при увеличении ее скорости (гидродинамическая кавитация), либо при прохождении акустической волны большой интенсивности во время полупериода разрежения (акустическая кавитация), существуют и другие причины возникновения данного эффекта. Перемещаясь с потоком в область с более высоким давлением или во время полупериода сжатия, кавитационный пузырек захлопывается, излучая при этом энергию ударной волны. Необходимо подчеркнуть, что кавитация в основном образуется на кромке срыва при переходе ламинарного течения жидкости, или их смесей, в турбулентное течение.

Хотя кавитация и нежелательна во многих случаях, существуют исключения ее полезного применения. В промышленности кавитация часто используется для гомогенизации (смешивания) и отсадки взвешенных частиц в коллоидном жидкостном составе. Кавитация способствует эмульгированию обычно не смешиваемых продуктов (например, мазут — вода), для интенсификации химических реакций в десятки раз, стерилизации обрабатываемой жидкости, для измельчения (диспергирования) до микронного уровня твердых частиц в жидкости, для гомогенизации обрабатываемого продукта и др. [5].

Методика испытаний и расчета степени защиты ингибитора. Исследование ингибитора коррозии ИТПС проводилось гравиметрическим методом при дозировке 50 мг/л . Данный метод заключается в определении потери массы металлических образцов за время их пребывания в ингибированной и неингибированной испытуемых средах с последующей оценкой защитной способности ингибитора по изменению скорости коррозии. Коррозионные испытания проводили на образцах стальных пластин (ст. 3) в ячейках объемом 500 мл при комнатной температуре в течение 6 часов. В качестве испытуемой среды была использована пластовая вода, приготовленная по ГОСТ 9.506-87.

Подготовка образцов к испытанию.

1) Поверхность образца шлифуется наждачной бумагой (нулевка) и обезжиривается ацетоном.

2) Для активации поверхности образца перед испытанием его погружают на 1 мин. в раствор 15 %-ной соляной кислоты и 30 сек. нейтрализуют в содовом растворе, затем тщательно промывают проточной и дистиллированной водой, высушивают фильтровальной бумагой, упаковывают в нее, выдерживают в эксикаторе с влагопоглотителем в течение 1 часа и взвешивают на аналитических весах с погрешностью не более 0,0001 г.

Проведение испытания.

1. 1 %-ный раствор ингибитора коррозии ИТПС перед введением в испытываемую среду подвергли кавитационному воздействию. После чего раствор стал более однородным и равномерно окрашенным.

2. В исследуемую среду дозируют необходимое количество 1 %-ного раствора ингибитора коррозии ИТПС. Подготовленные образцы помещают в испытываемую среду и выдерживают в течение 6 часов. Время испытаний отсчитывают с момента помещения образцов в испытываемую среду.

3. Вместе с тем с периодичностью 15, 30 и 45 мин. проводят обработку испытываемой среды с ингибитором и образцами генератором ультразвуковой кавитации – 4 раза.

Сразу после испытаний образцы подвергают визуальному осмотру.

Для определения потери массы образцов их поверхность должна быть очищена в следующей последовательности: коррозионный налет удаляют ластиком; образцы промывают водопроводной и дистиллированной водой, высушивают фильтровальной бумагой, обезжиривают ацетоном, упаковывают в фильтровальную бумагу, выдерживают в эксикаторе с влагопоглотителем в течение 1 ч и взвешивают на аналитических весах [4, 6, 7].

Вычисление площади образцов по формуле

$$S = 2 \left[\left(a \cdot b - \frac{\pi \cdot d^2}{2} \right) + h(a + b + \pi \cdot d) \right].$$

Скорость коррозии (V_k) в $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$ вычисляют по формуле

$$V_k = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot \tau},$$

где m_1 — масса образца до испытания, г; m_2 — масса образца после испытания, г; S — площадь поверхности образца, м^2 ; τ — время испытания, ч.

Степень защиты (Z) в процентах вычисляют по формуле

$$Z = \frac{V_{k0} - V_{k1}}{V_{k0}} \cdot 100,$$

где V_{k0} — скорость коррозии образцов в неингибированной среде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; V_{k1} — скорость коррозии образцов в ингибированной среде, $\text{г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$.

Результаты испытаний приведены в таблице и на рис. 2.

Результаты коррозионных испытаний ингибитора коррозии ИТПС с применением УЗ и без

Условия испытаний		Эффективность ИТПС % р-р 50 мг/л
Без УЗ		75,9 %
С УЗ через 15 мин. 4 раза	До введения ингибитора в испытываемую среду его подвергли обработке УЗ	97,3 %
С УЗ через 30 мин. 4 раза		81,7 %
С УЗ через 45 мин. 4 раза		67,9 %

Эффективность ингибитора коррозии ИТПС

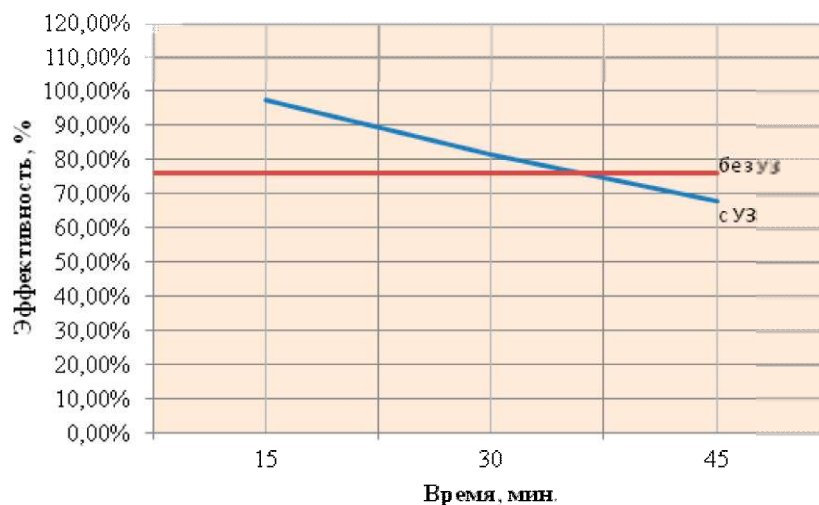


Рис. 2. График изменения эффективности ингибитора коррозии ИТПС в зависимости от времени с применением генератора кавитации и без

Таким образом, использование генератора кавитации способствует равномерному перемешиванию ингибиторов коррозии до введения их в испытуемую среду.

Кавитация снижает эффективность ингибитора коррозии из-за разрушения химических связей.

Список литературы

1. Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://himipex.com/metall-corrosie-info-theorie>
2. Ибрагимов Н. Г., Хафизов А. Р., Шайдаков В. В. Осложнения в нефтедобыче. – Уфа: Монография, 2003. – 302 с.
3. ISO 8044:1999 Коррозия металлов и сплавов. Общие термины и определения
4. Хафизов Ф. Ш., Хафизов И. Ф., Килинбаева А. С., Халикова О. Д. Оценка ингибирующей способности ингибитора на основе имидазолина // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 67-69.
5. Применение кавитационно-вихревого эффекта в аппарате абсорбции сернистых соединений из нефти / Ф. Ш. Хафизов [и др.] // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. – № 4. – С. 74-78.
6. ГОСТ 9.506-87 Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. – М.: Госстандарт СССР, 1987. – 16 с.
7. Исследование реагента «ПСМ-1» в качестве ингибитора коррозии / И. Ф. Хафизов, О. Д. Халикова, В. Д. Халиков. (Экология и промышленная безопасность) // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2014. – № 6. – С. 46-48

Сведения об авторах

Хафизов Ильдар Фанилевич, к. т. н., доцент кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431813, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Килинбаева Анжелика Станиславовна, магистрант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431813

Халикова Олеся Данисовна, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431813, e-mail: himeolesya@yandex.ru

Каримов Расуль Равилович, аспирант кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431813

Information about the authors

Khafizov I. F., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the chair «Fire and industrial safety», Ufa State Petroleum Engineering University, phone: 8(347)2431813, e-mail: ildar.hafizov@mail.ru

Kilinbaeva A. S., postgraduate of the chair «Fire and industrial safety», Ufa State Petroleum Engineering University, phone: 8(347)2431813

Khalikova O. D., postgraduate of the chair «Fire and industrial safety», Ufa State Petroleum Engineering University, phone: 8(347)2431813

Karimov R. R., postgraduate of the chair «Fire and industrial safety», Ufa State Petroleum Technical University, phone: 8(347)2431813