

УДК 620.197.3

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩИХ УГЛЕВОДОРОДОВ

**IMPROVEMENT OF METHODS TO ENHANCE THE FIRE SAFETY
OF PIPELINES WHEN TRANSPORTING THE HYDROCARBONS
CONTAINING HYDROGEN SULFIDE**

Ф. Ш. Хафизов, И. Ф. Хафизов, А. С. Килимбаева

F. S. Khafizov, I. F. Khafizov, A. S. Kilinbaeva

Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа

*Ключевые слова: ингибитор коррозии ВИКОР; эффективность ингибитора;
ультразвуковые волны; кавитация*

Key words: corrosion inhibitor VIKOR; inhibitor effectiveness; ultrasonic waves; cavitation

Магистральные нефтепроводы в настоящее время являются экономически выгодным транспортом, но в то же время представляют собой сложный комплекс, в который входит опасное вещество — нефть. Опыт использования нефтепроводов показывает, что, несмотря на то, что в области проектирования, строительства и эксплуатации магистральных нефтепроводов достигнуты определенные результаты, полностью

исключить отказы не удастся. Как следствие возникают техногенные аварии, загрязняется окружающая среда, возникают пожары, разрушаются сооружения, гибнут люди.

Пожары на нефтепромысловых объектах возникают, когда одновременно имеется горючий материал, окислитель и источник зажигания [1]. На магистральных трубопроводах горючим веществом является нефть, которая может разлиться в результате аварии. Пары над пролившейся жидкостью способны к устойчивому горению, которое сопровождается мощным тепловым излучением, воздействующим на другие аппараты, здания, сооружения и персонал.

Для транспортировки нефти и нефтепродуктов используется трубопроводный транспорт. Есть множество причин, по которым возникают техногенные аварии. Одна из основных причин возникновения техногенных аварий — коррозионное разрушение трубопроводов.

Количество пожаров возможно уменьшить в результате проведения мероприятий по защите от коррозии. Это позволяет значительно сократить расходы, связанные с их ликвидацией, повысить надежность и продлить эксплуатационный срок трубопроводов. Также проведение защитных мероприятий позволяет повысить экологическую безопасность объектов. Ингибиторная защита — наиболее эффективный и технологически несложный метод защиты от внутренней коррозии [2].

Однако количество порывов в местах сужения проходного сечения, то есть в областях, где возможно возникновение кавитации, не уменьшается. Значит, ингибиторная защита в таких областях трубопровода не эффективна.

Цель настоящей работы — исследование защитной способности ингибитора коррозии ВИКОР в условиях возникновения кавитации.

В качестве объекта исследования выбран полевой магистральный трубопровод ПМТБ-200. Диаметр условного прохода равен 200 мм, пропускная способность — 7 500 м³/сутки. Трубопровод выполнен из стали марки 08Г2СФ.

В качестве ингибитора коррозии выбран ВИКОР, который предназначен для защиты от коррозии и наводороживания нефтепромыслового оборудования и трубопроводов, работающих в сероводородсодержащих высокоминерализованных водных средах.

Защитная способность ингибитора определяется гравиметрическим методом [3]. Гравиметрический 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.

Модель магистрального трубопровода построена с помощью программного комплекса КОМПАС-3D V13.

Расчет гидродинамики течения жидкости через задвижку производился в программном комплексе FLOW VISION V2.5.4.

Опытным путем была установлена минимальная концентрация настоящего ингибитора, при котором его можно считать эффективным в пластовой воде, содержащей углекислоту и сероводород [4]. Результаты приведены в табл.1.

Таблица 1

**Результаты коррозионных испытаний ингибитора на пластинах Ст3
в пластовой воде, содержащей H₂S и CO₂**

С _{инг} , мг/л	V _к , г/м ² *ч	Z, %
20	0,6009	62
25	0,53333	66
26	0,28464	82
50	0,14232	91
100	0,07907	95

На рис. 1 показана зависимость скорости коррозии от концентрации ингибитора, на рис. 2 — зависимость эффективности ингибитора от его концентрации.

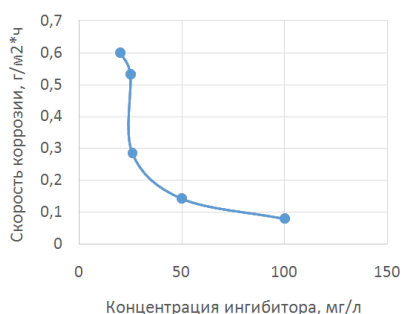


Рис. 1. График зависимости скорости коррозии от концентрации ингибитора в пластовой воде, содержащей H_2S и CO_2

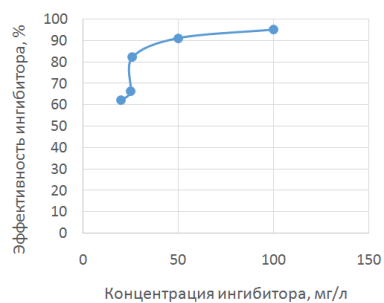


Рис. 2. График зависимости ингибитора от его концентрации в пластовой воде, содержащей H_2S и CO_2

С увеличением концентрации ингибитора коррозии ВИКОР в пластовой воде скорость коррозии уменьшается, а эффективность ингибитора, наоборот, увеличивается. Эффективным и конкурентоспособным на международном рынке считается ингибитор коррозии, проявляющий защитную способность от 80 % и выше. Исследуемый ингибитор начинает проявлять такие свойства при концентрации 26 мг/л. Значит это минимальная концентрация, которой достаточно для обеспечения безопасной эксплуатации нефтепровода, транспортирующего нефть и пластовую воду с содержанием углекислоты и сероводорода.

Проведена оценка защитной способности ингибитора коррозии ВИКОР в пластовой воде под воздействием ультразвука (табл. 2).

Таблица 2

Результаты коррозионных испытаний под воздействием ультразвука

$C_{\text{инг}}$, мг/л	$V_{\text{кз}}$, г/м²*ч	Z, %
26	0,42697	73
50	0,37953	75
100	0,31627	80

Как показали испытания, периодические ультразвуковые колебания негативно влияют на ингибитор коррозии ВИКОР. Обработка ультразвуком повышает скорость коррозии стальных пластин в пластовой воде. Это иллюстрируется на рисунках 3 и 4.

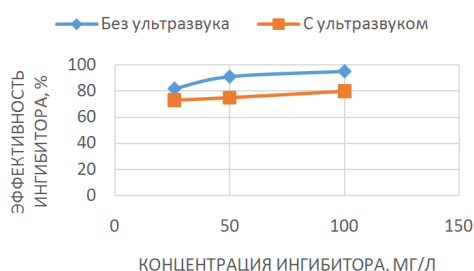


Рис. 3. График зависимости скорости коррозии от концентрации ингибитора в пластовой воде, обработанной ультразвуком

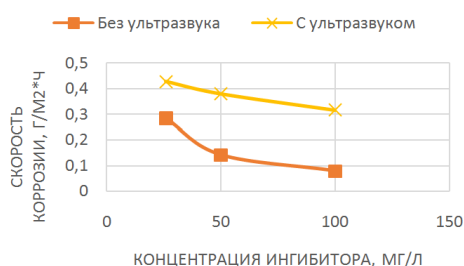


Рис. 4. График зависимости эффективности ингибитора от его концентрации в пластовой воде, обработанной ультразвуком

Как видно из графика (см. рис. 4), под воздействием ультразвуковых колебаний наблюдается падение эффективности ингибитора коррозии ВИКОР до 20 %, что приводит к негативным последствиям при эксплуатации нефтепровода. Предполагаем, что снижение защитной способности ингибитора в области задвижки связано с тем, что за

счет возникающей кавитации с внутренней поверхности трубопровода удаляется защитная пленка ингибитора, которая в обычных условиях препятствует проникновению агрессивной среды в молекулы металла. Такой процесс в промышленности называется ультразвуковой очисткой.

Проведенные нами лабораторные испытания показали, что ингибитор коррозии малоэффективен под воздействием ультразвука, а значит, и в тех зонах трубопровода, где возникает кавитация. Для того, чтобы вычислить, при какой степени закрытия клина задвижки в нефтепроводе возникает кавитация и, следовательно, не срабатывает ингибиторная защита, было проведено моделирование течения нефти по трубопроводу в программном комплексе Flow Vision.

Для изучения гидродинамики движения перекачиваемого продукта применялась относительная скорость, выраженная в векторной форме и характеризующая движение жидкости по отношению к стенкам задвижки. На рис. 5 показано представление векторного поля скоростей потока в плоскости симметрии трубопровода при закрытии проходного сечения на 25 %.

При закрытии задвижки на 25 % (см. рис. 5) скорость потока возрастает незначительно и достигает 2,7 м/с. Кавитация в данном случае не возникает, прослеживается только небольшая зона обратного тока, связанная с тем, что жидкость при прохождении через задвижку частично меняет направление. Но скорость настолько мала, что вихрь не образуется.

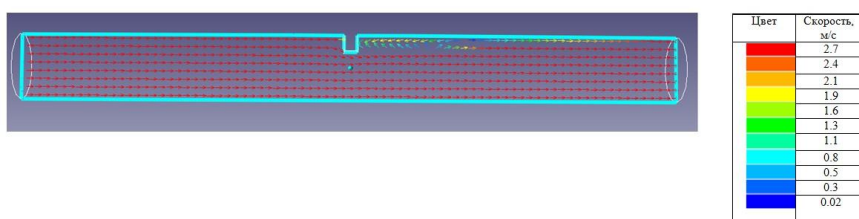


Рис. 5. Представление векторного поля скоростей потока в плоскости симметрии трубопровода при закрытии проходного сечения на 25 %

При закрытии проходного сечения на 50 % (рис. 6) скорость течения возрастает до 5,5 м/с. Наблюдается обратное течение, но кавитация не образуется.

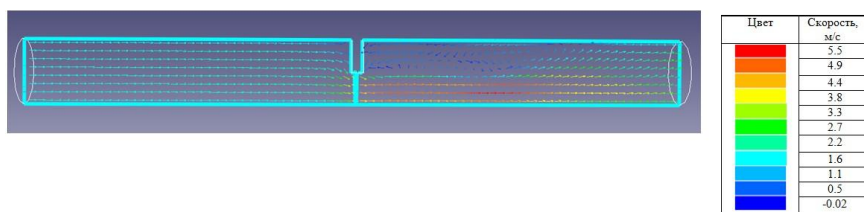


Рис. 6. Представление векторного поля скоростей потока в плоскости симметрии трубопровода при закрытии проходного сечения на 50 %

Исследования показали, что если закрыть задвижку на 75 % (рис. 7), скорость течения достигает 11,3 м/с. При таком закрытии в трубопроводе возникает кавитация.

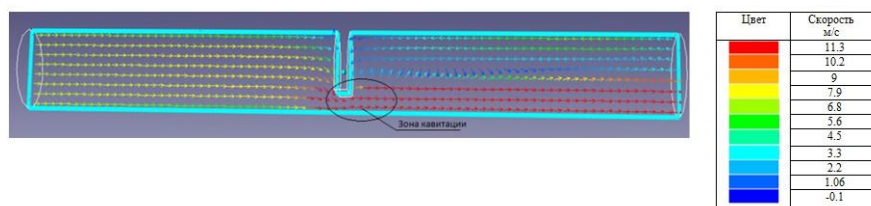


Рис. 7. Представление векторного поля скоростей потока в плоскости симметрии трубопровода при закрытии проходного сечения на 75 %.

Дальнейшими исследованиями установлено, что чем больше перекрытие задвижки, тем больше интенсивность возникающей гидродинамической кавитации. При закрытии условного проходного сечения на 95 % (рис. 8) наблюдается максимальная скорость 47 м/с, следовательно, кавитация с наибольшей интенсивностью.

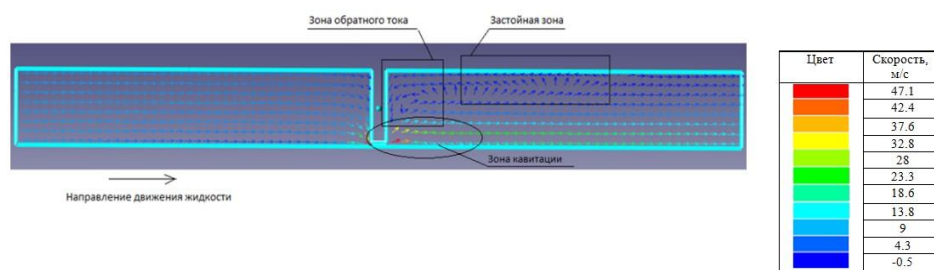


Рис. 8. Представление векторного поля скоростей потока в плоскости симметрии трубопровода при закрытии проходного сечения на 95 %

Лабораторными исследованиями и моделированием в программе FlowVision установлено, что ингибитор коррозии ВИКОР не эффективен в трубопроводах с сужением проходного сечения на 75 % и выше. Это связано с тем, что возникающая кавитация разрушает слой ингибитора на внутренней поверхности трубопровода. С целью сохранения материала трубопровода в областях задвижек предлагается ставить уплотнительные кольца по внутреннему диаметру трубы.

Выводы

- Гравиметрическим методом получены графики зависимости скорости коррозии и эффективности ингибитора от его концентрации.
- Установлено, что ВИКОР при концентрации 26 мг/л проявляет эффективность 82 % и, следовательно, является эффективным ингибитором углекислотной и сероводородной коррозии.
- Под воздействием ультразвуковых колебаний эффективность ингибитора ВИКОР при концентрации 26 мг/л падает с 82 % до 73 %.
- В трубопроводах при сужении проходного сечения на 75 % и выше возникает кавитация.
- Ингибитор коррозии ВИКОР при закрытии задвижки на 75 % и выше проявляет низкую эффективность, поэтому с целью сохранения материала трубопровода в областях задвижек предлагается ставить уплотнительные кольца по внутреннему диаметру трубы.

Список литературы

1. Хафизов И. Ф. Исследование влияния кавитационно-вихревых воздействий на степень защиты ингибиторов коррозии имидазолина / И. Ф. Хафизов, Ф. Ш. Хафизов, А. С. Килинбаева, О. Д. Халикова // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. – № 4. – С. 102-105.
2. Розенфельд И. Л. Ингибиторы коррозии / И. Л. Розенфельд. – М.: Химия, 1977. – 350 с.
3. ГОСТ 9.506-87. Единая система защиты от коррозии и старения. Ингибиторы коррозии металлов в водно-нефтяных средах. Методы определения защитной способности. – М.: Изд. стандартов, 1987. – С.16.
4. Хафизов И. Ф. Оценка ингибирующей способности ингибитора на основе имидазолина / И. Ф. Хафизов, Ф. Ш. Хафизов, А. С. Килинбаева, О. Д. Халикова // Известия вузов. Нефть и газ. – 2015. – № 1. – С. 74-78.

Сведения об авторах

Хафизов Фаниль Шамильевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедры «Пожарная и промышленная безопасность», Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, тел. 8(347)2431813, e-mail: pkpb@mail.ru

Хафизов Илдар 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

Information about the authors

Khafizov F. Sh., Doctor of Engineering, professor, head of the chair «Fire and industrial safety», Ufa State Petroleum Engineering University, phone: 8(347)2431813, e-mail: pkpb@mail.ru

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