

*Редько А.Ф., д-р тех. наук, проф.,**Капцов И.И., аспирант**Харьковский национальный университет строительства и архитектуры*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ГАЗОПРОВОДОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ВЫСОКОКРАТНЫМИ ПЕНАМИ

lev68@ukr.net

Рассмотрены источники накопления загрязнений, снижающие пропускную способность газопроводов, анализ механических и жидкостных составляющих. Проанализированы технология, методы образования и применения поверхностно-активных веществ в различных отраслях народного хозяйства. Приведены результаты исследований процессов очистки с использованием стабилизаторов пены. Рассмотрены вопросы влияния объемной и структурной концентрации загрязнений, скорости газового потока на эффективность очистки.

Ключевые слова: *очистка, загрязнения, высокократная пена.*

Введение. Источником накопления жидкости может быть капельная жидкость (вода и конденсат), поступающая из скважин вместе с газом, конденсат воды и тяжелых углеводородов, образующийся при снижении температуры газа при его движении по трубопроводу, а также жидкость, уносимая потоком газа из сепараторов.

Интенсивность накопления жидкости зависит от скорости движения газа и профиля трассы трубопровода. На горизонтальных и нисходящих участках трассы жидкость движется в виде пленки по стенкам трубы. Наибольшее количество жидкости скапливается на восходящих участках трубопровода, образуя гидравлический затвор, частично или полностью перекрывающий сечение трубы. Наличие в газе жидкости, механических примесей значительно увеличивает гидравлическое сопротивление газового потока.

Исследование проб, отобранных из внутренней полости промысловых газопроводов Шебелинского, Крестищенского, Мелиховского, Ефремовского и других месторождений свидетельствуют о наличии в продуктах отложений углеводородного конденсата, воды, минерального шлама [1].

Анализ механических примесей жидких загрязнений конденсатно-водной смеси показывает, что они в основном состоят из глинистых частиц с линейными размерами 0,005 мм и менее, 50% которых имеют карбонатное происхождение.

Кроме глинистых частиц имеются частицы кварца, гематита, магнетита и других минералов с линейными размерами до 0,01 мм [2].

В последние годы в химическом производстве и других отраслях народного хозяйства нашли широкое применение поверхностно-активные вещества (ПАВ). Имеется опыт применения ПАВ для очистки больших емкостей, призабойной зоны скважин, отдельных участков

трубопроводов [3]. Технология применения ПАВ для очистки отдельных участков трубопроводов некоторыми фирмами США включает многократный их пропуск в виде пены по всему участку с последующей промывкой водой и пропуском скребка [4].

Основные положения и методы исследования. Принципиальная схема образования пенной структуры методом эжектирования в пеногенераторах осуществляется следующим образом. Поток газа подается по специальной трубе, где смонтирован подводящий трубопровод раствора пенообразователя и сетка с определенной величиной и количеством ячеек. По подводящему трубопроводу подается в поток газа раствор пенообразователя. Полученная газожидкостная смесь в процессе движения частично аэрирует пену перед сеткой, основная масса пенной структуры генерируется на сетке. Капли раствора пенообразователя смачивают сетку, образуя за счет сил поверхностного натяжения пленку, которая потоком газа прогибается по ходу движения до образования сферы, заполненной газовой средой.

Физические свойства и структура пены будут зависеть от геометрических параметров сетки, расхода пенообразователя и скорости потока газа. При больших скоростях кинетическая энергия потока газа срывает и уносит адсорбционные слои создающих пленку структурных ячеек пены, отрицательно воздействуя в целом на процесс пеногенерации. Допустимая скорость потока газа, при которой осуществляется процесс пеногенерации, также зависит от геометрических параметров сетки и свойств пенообразователя.

Поверхностно-активные вещества за счет наличия упругих эластичных жидкостных пленок обладают свойствами обволакивать и изолировать друг от друга частицы загрязнений.

Структура пен, во многом зависит от величины кратности (К), характеризующей отноше-

ние объема пены к величине объема раствора пенообразователя, из которого она получена:

$$K = \frac{V_n}{V_{pn}} = \frac{V_z + V_{pn}}{V_{pn}} \quad (1)$$

где V_n – объем пены, образованной при вспенивании пенообразователя, V_z , V_{pn} – объемы газа и раствора пенообразователя.

Пены условно подразделяют на низкократные ($1 < K < 20$), средней кратности ($20 < K < 200$) высокократные ($K \geq 20$). Повышенная кратность пены уменьшает единичный объем ячеек и увеличивает их количество в общем объеме, резко увеличивая поверхность контакта.

Результаты исследований показывают, что устойчивость пены зависит от свойств пенообразователя, концентрации вещества в растворе, свойств контактирующего с ПАВ вещества, способа образования пены и других факторов [5].

Для повышения устойчивости пен применяют стабилизаторы, роль которых могут выполнять как химические вещества (высшие жирные спирты, алкиларилсульфонаты, алкилсульфаты, соли дикарбоновых кислот и др.), так и твердые частицы (глина, песок, продукты коррозии и др.).

Эффективность очистки при парциальной подаче пены оценивалась отношением объема загрязнений, полученных за один цикл пропуска через очищаемый участок высокократной пены к первоначальному объему загрязнений.

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{V_{заг}^i}{V_{заг}} \quad (2)$$

где $V_{заг}^i$ – объем загрязнений, полученных за один цикл пропуска пенного поршня через очищаемый участок; $V_{заг}$ – общий объем загрязнений в газопроводе; n – количество циклов для полного удаления загрязнений.

В конце участка пена разрушалась, а загрязнения отделялись. Разрушение пены осуществлялось пропуском ее через фильтры, где она превращалась в жидкую фазу и вместе с загрязнениями замерялась в мерной емкости.

$$V_3^i = V_{заг}^i + V_{жс}^n \quad (3)$$

где V_3^i – объем загрязнений и жидкой фазы пены за один цикл очистки; $V_{жс}^n$ – объем жидкой фазы пены, погашенной на конце очищаемого участка.

Исследования проводились при различной степени загрязненности газопровода, которая отражалась объемным коэффициентом ($\beta_{заг}$), характеризующим отношение объема загрязне-

ний ($V_{заг}$) к геометрическому объему очищаемого участка газопровода (V_z).

$$\beta_{заг} = \frac{V_{заг}}{V_z} \quad (4)$$

Подставив уравнения (3), (4) в выражение 2) получим:

$$\varepsilon = \sum_{i=1}^n \frac{V_{заг}^i - V_{жс}^n}{\beta_{заг} - V_z} \quad (5)$$

Циклы очистки внутренней полости высокократными пенами проводились при различных скоростях потока газа в очищаемом участке. При малых скоростях движения газового потока (0,5 – 1,5 м/с) пена контактируя с загрязнениями снижает силы поверхностного натяжения на границе раздела фаз. В результате происходит флотация (прилипаемость) твердых мелкодисперсных частиц и всасывание жидкости и механических примесей в межпленочное пространство высокократной пены. Образуются абсорбционные пленки на частицах загрязнений, в результате чего они становятся подвижными. Происходит активный процесс диспергации (проникновения) пены с частицами загрязнений, что снижает силы сцепления их между собой и с внутренней поверхностью трубы. За счет движения газового потока эти загрязнения вспениваются, образуя пробко-диспергированную структуру, и выносятся за пределы их локализации. На рис. 1 показано влияние эффективности процесса очистки газопровода высокократными пенами в зависимости от линейной скорости газового потока и объемной концентрации загрязнений. При скорости газового потока (1,5 – 3,5 м/с) в процессе очистки доминирует эффект поршневого. Упруговязкая структура пены, двигаясь со скоростью газового потока, образует своеобразный поршень по всему сечению трубы большой длины. При движении пенный поршень концентрирует впереди себя загрязнения, которые перекрывают сечение трубы. С дальнейшим повышением скорости газового потока пенный поршень увеличивает концентрацию загрязнений до полного перекрытия сечения трубы, образуя своеобразный поршень из загрязнений, что увеличивает эффект поршневого. Как видно из полученных данных, на интенсивность процесса очистки влияет объемная концентрация загрязнений или степень загрязненности газопровода ($\beta_{заг}$). При величине объемной концентрации загрязнений равной ($\beta_{заг}^1 = 0.10$) процесс очистки пеной начинается при меньших значениях скоростей газового потока, чем при ($\beta_{заг}^{IV} = 0.55$). Так, для одной и той же величины скорости ($v = 0.5$ м/с) эффектив-

ность очистки для первого и второго случаев будет соответственно 16,35% и 4,45%.

Зависимость эффективности процесса очистки при парциальной подаче пены от величины скорости для различных объемных концентраций загрязнений не однозначна (рис. 1). Для объемной концентрации ($\beta_{32}^I=0.10$) абсолютный вынос загрязнений достигается ($\varepsilon=100\%$) при скорости движения пены и газового потока ($v=2.4 - 2.6$ м/с), а функциональная зависимость $\varepsilon = f(v)$ носит прямолинейный характер. Для объемной концентрации ($\beta_{32}^{IV}=0.55$) эффективность процесса очистки носит квадратичный характер, абсолютный вы-

нос загрязнений достигается при скорости движения пены и газового потока в очищаемом газопроводе равной ($v=5.0-5.2$ м/с). Характерным является диапазон величин скоростей ($v=5.0-5.2$ м/с), когда эффективность очистки колеблется в пределах ($\varepsilon=4.5-25\%$), с увеличением скорости на $\Delta v=2$ м/с эффективность очистки возрастает на $\Delta \varepsilon=75\%$. С уменьшением степени загрязненности газопроводов функциональная зависимость процесса очистки переходит от квадратичной в прямолинейную. В связи с этим определение степени загрязненности газопровода является необходимым для выбора режима очистки.

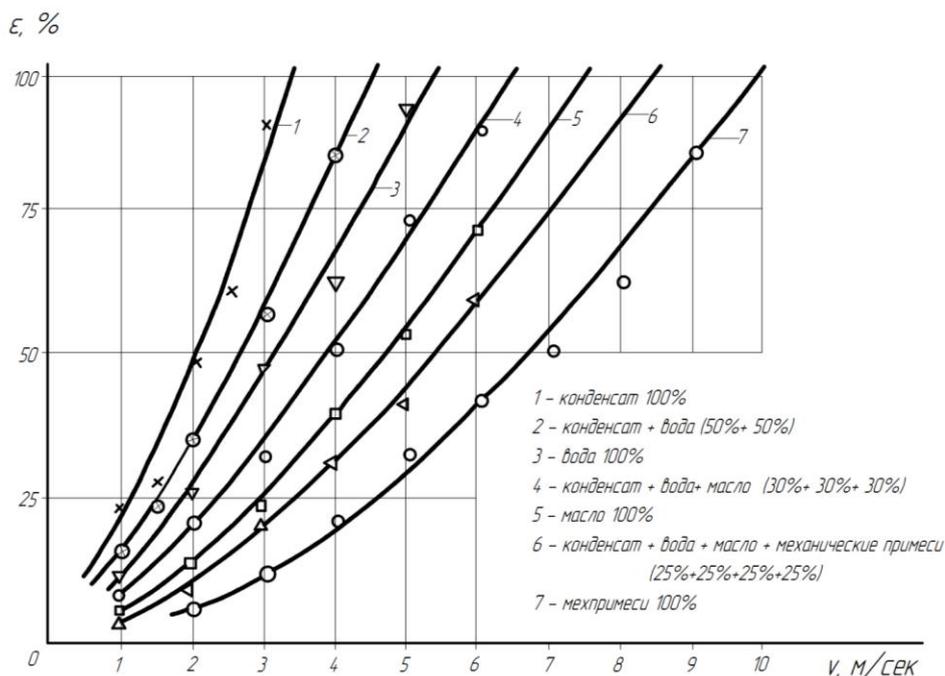


Рис. 1. Зависимость эффективности очистки высокочастотными пенами от скорости потока и хранения загрязнений

Полученная характеристика процесса очистки газопроводов высокочастотными пенами позволяет определить скорость движения газового потока, при котором можно обеспечить заданную эффективность очистки.

Эффективность очистки зависит от концентрации пенообразователей из которых получали пены. Пены, полученные на пеногенераторе из растворов, содержащих 0,5% и 2,0% пенообразователя, очищают газопровод с меньшей эффективностью по сравнению с пенами, образованными при тех же условиях из растворов, содержащих 1% пенообразователя. Повышение концентрации растворов ПАВ выше 1% - 1,5% вызывает уменьшение эффективности очистки.

Определенным образом на процесс очистки влияет и кратность пен. С повышением кратности пен процесс очистки интенсифицируется. Время на очистку одного и того же объема за-

грязнений при одинаковых режимах очистки сокращается для пены с кратностью $K = 240$ в два раза по сравнению с пеной, имеющей кратность $K=150$. Однако дальнейшее повышение кратности пены ($K > 300$) снижает эффективность процесса очистки.

Положительно на процесс очистки влияет добавка в пенообразователь стабилизаторов (рис. 2). Высокочастотные стабилизированные пены из АС, содержащие в качестве стабилизаторов высшие жирные спирты (ВЖС) 10:1 повышают эффективность очистки в два раза по сравнению с очисткой пеной без стабилизатора. Стабилизаторы повышают структурно-механические качества пены и устойчивость к разрушению при динамических нагрузках.

При исследовании эффективности очистки пеной, подаваемой сплошной массой критерием оценки эффективности принята удельная вели-

чина выноса пеной загрязнений в единицу времени ($\Delta m / \Delta \tau$).

$$v_{32} = \frac{\Delta m}{\Delta \tau} \quad (6)$$

Как показывают результаты исследований (рис. 3), удельный вынос загрязнений (v_{32}) в процессе очистки при одной величине скорости движения пены изменяется. В начальный период очистки эта величина максимальна и резко снижается после истечения 10-12 секунд. Последующий период очистки характеризуется постоянством процесса очистки.

В начальный момент при максимальном содержании загрязнений в очищаемом участке непрерывный поток пены осуществляет динамическое воздействие, создавая эффект поршневания. Постоянная удельная величина выноса загрязнений во времени объясняется капиллярным эффектом поглощения и флотацией загрязнений.

Движущаяся пена по мере насыщения загрязнениями образует послынный вынос в виде своеобразного непрерывного транспортного конвейера. При заполнении загрязнениями объема трубы больше половины его сечения, поверхность загрязнений или площадь контакта с пеной в процессе очистки будет увеличиваться до объема, занимаемого ($0.5 F_{тр}$) площади сечения трубы.

Последующая очистка будет осуществляться с уменьшением поверхности загрязнений и площади контакта с пеной.

Для полной очистки газопровода от загрязнений требуется определенное количество пены, которое зависит от режима очистки, физико-химических характеристик ПАВ и загрязнений и т.д.

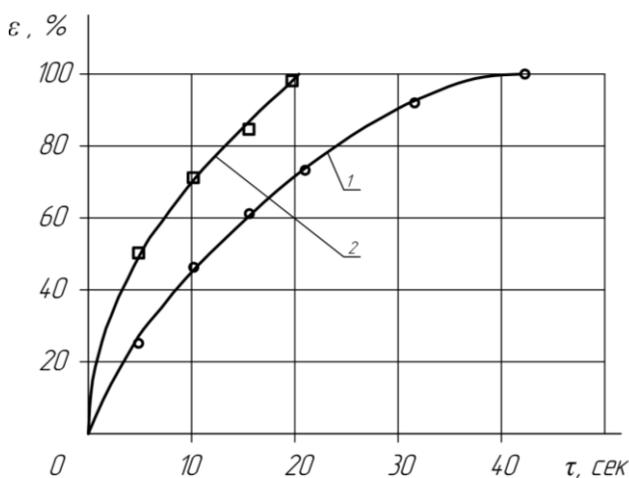


Рис. 2. Влияние стабилизаторов ПАВ на процесс очистки:
1 – алкилсульфат (1 %); 2 – алкилсульфат со стабилизатором ВЖС

(10:1)

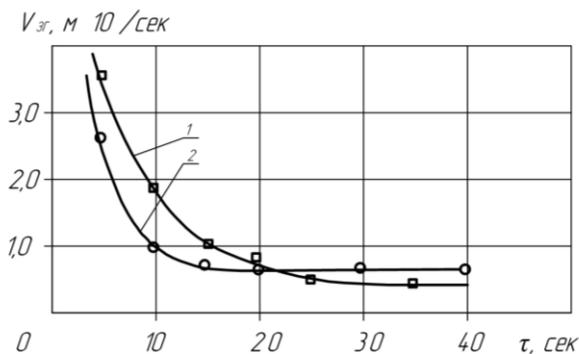


Рис. 3. Изменение удельного выноса загрязнений в процессе очистки ПАВ

1 – пена из 1 % ПАВ; 2 – пена из 2 % ПАВ

Поэтому одной из составляющих показателей эффективности очистки следует считать отношение объема пены, необходимого для очистки загрязнений к их объему (коэффициент обмена пеной):

$$N = \frac{Q}{V_0 - V_{32}^{cp}} \quad (7)$$

где: Q - полный объем пены, необходимый для очистки загрязнений; $V_0, V_{K_i}^{-p}$ - геометрические объемы очищаемого газопровода и занимаемых в нем загрязнений.

Объем загрязнений (V_{32}) в процессе очистки изменялся, поэтому принимался осредненным в выбранном интервале времени очистки:

$$V_{32}^{cp} = \frac{V_n + V_k^{\tau}}{2} \quad (8)$$

Во время экспериментальных исследований осреднение объема загрязнений производилось в интервале времени 0-5 секунд; 5-10 секунд и т.д.

Полученные результаты (рис. 4) показали, что коэффициент обмена пены (N) в процессе очистки изменялся в широком диапазоне ($N = 10-40$) и зависит от скорости движения пены, периода очистки, объема загрязнений.

Характер зависимости процесса очистки от скорости пенного потока показывает, что эффективность процесса очистки повышается с увеличением линейной скорости движения пены (рис. 5).

При исследовании влияния природы загрязнений на процесс очистки были отобраны загрязнения непосредственно из внутренней полости газопроводов, а также приготавливались смеси из наиболее характерных компонентов. Кроме того, исследовались процессы очистки загрязнений в чистом виде: конденсат, вода, смазочное масло МС-20, механические примеси.

Как показали результаты исследований, наиболее легко выносятся пеной загрязнения состоящие из газоконденсата и смеси его с водой. Скорость пенного потока при этом должна составлять 2 – 5 м/с. Загрязнения, состоящие из чистого смазочного масла М-20 и смеси (конденсат + вода + масло), эффективно удаляются из газопровода пенным потоком движущимся со скоростью 6 – 8 м/с. Наиболее трудоемкими в очистке являются механические примеси, включающие песок, гиматид, продукты коррозии, соли и смеси (конденсата + воды + смазочные масла МС-20 + мехпримеси). Для эффективного удаления таких загрязнений необходимо, чтобы пенный поток двигался со скоростью 8 – 10 м/с.

Очистка механических загрязнений скоростным потоком при парциальной подаче пены производилась с предварительным их смачиванием. Для смачивания очищаемый участок заполнялся пеной и выдерживался в течении 10-15 мин., после чего производился скоростной напор газа.

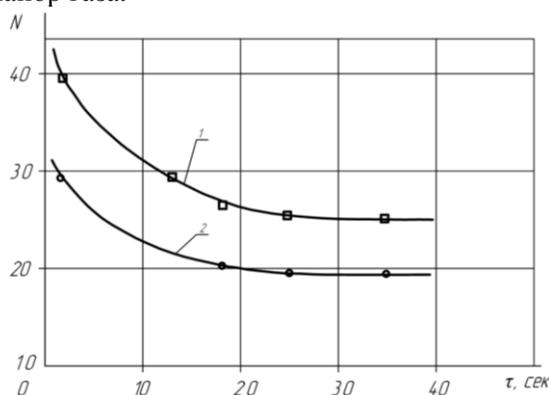


Рис. 3. Изменение коэффициента обмена пены в процессе очистки
1 – пена из 1 % ПАВ; 2 – пена из 2 % ПАВ

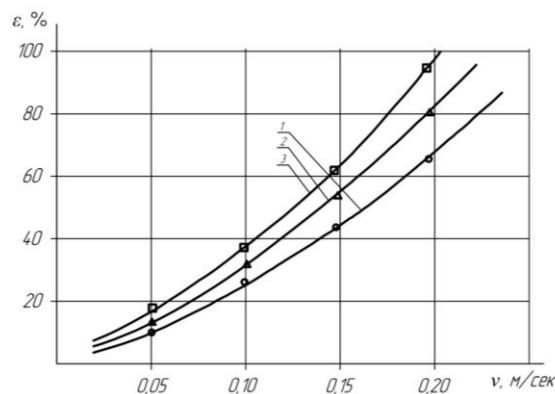


Рис. 5. Зависимость очистки от скорости движения пены при непрерывной подаче в течение 5 сек.

$K=150$

1 – пена ОП-7; 2 пена АС; 3 – пена АС+ВЖС

Выводы. Результаты исследований показали, что наиболее эффективная очистка загрязнений осуществляется пенами, образованными из алкил-сульфатов (АС) концентрации раствора 1-2% и кратностью, равной ($K = 150 - 300$) с применением стабилизаторов в соотношении 10 – 1. В качестве стабилизаторов необходимо применять высшие жирные спирты (ВЖС). Применение других типов ПАВ для очистки снижает ее эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Закревский Л. А. Очистка магистральных газопроводов от скоплений – М: Транспорт и хранение газа, 1972, 15 с.
2. Анализ загрязнений внутренней полости газопроводов. И. И. Капцов, В. Н. Гончаров М: Газовая промышленность, №8, 1979, с. 44 – 45.
3. Экспериментальные исследования по освоению скважин пенами. В. А. Амиан – М: Нефтепромысловое дело, №8, с. 24 – 26.
4. Гурвич Л. М. Многофункциональные композиции ПАВ в технологических операциях нефтедобычи. М: ВНИИОЭНГ, 1994, 268 с.
5. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М: Химия, 1975, 264 с.