

УДК 622.24

ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОСОПЛОВОГО ЭЖЕКЦИОННОГО СТРУЙНОГО АППАРАТА ДЛЯ ВВОДА ИНГИБИТОРА В ПРОМЫСЛОВЫЙ ГАЗОПРОВОД

Поляков А.В.¹, Терещенко И.А., Бойко С.И., Кунина П.С.

*Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар
e-mail: ¹polyakov0804@yandex.ru*

Аннотация. Решена задача оптимизации системы ввода ингибитора (метанола) для предотвращения гидратообразования с помощью разработки установки на основе односоплового эжекционного струйного аппарата, для которого разработана методика расчета основных геометрических параметров. Это позволяет снизить расход ингибитора и уменьшить или полностью предотвратить аварийность на газопроводах и компрессорных станциях из-за образования гидратов.

Ключевые слова: газопровод, эжектор, гидратообразование, ингибитор, низконапорная среда, высоконапорная среда, кавитация, эжекция

При эксплуатации систем промысловых газопроводов, особенно в северных регионах возникают проблемы образования и роста гидратов на внутренней поверхности трубопровода, что приводит к снижению надежности эксплуатации трубопроводов [1]. Поэтому обеспечение нормальных условий эксплуатации и режима, при котором отсутствуют условия для образования гидратов, и создание методов, направленных на предотвращение гидратообразования и на профилактику этого процесса, является актуальной задачей.

Известно, что образования гидратов приводит к значительному увеличению гидравлического сопротивления и снижению пропускной способности трубопровода вплоть до полного закупоривания, что, в свою очередь, нередко способствует возникновению аварийных и опасных ситуаций [2, 3].

Для борьбы с гидратообразованием в системе промыслового сбора и подготовки газа применяют ввод ингибитора (обычно метанол) на площадках газовых скважин и установках подготовки газа (УПГ). Ввод ингибитора может быть как периодическим, так и постоянным [1].

Однако ввод ингибитора должен быть строго дозирован, т.к. его избыток может привести к заполнению нижней части трубопровода метанолом, что затрудняет его эксплуатацию вследствие образования уже метаноловых пробок в понижающих участках трассы. Кроме того, переизбыток метанола может привести к выходу из строя оборудования перекачки и регулирования потока газа и, особенно, контрольно-измерительных приборов, а также усложняет учет углеводородного сырья. Поэтому оптимизации системы подачи ингибитора в промысловые газопроводы, а так же целенаправленный поиск и испытания новых устройств для ввода метанола в трубопроводы на сегодняшний день не завершены.

Как один из вариантов решения этой задачи авторами разработан способ и устройство ввода ингибитора в промысловый газопровод с помощью односплошного эжекционного струйного аппарата.

Принципиальная схема эжекционного струйного течения представлена на рис. 1 [4, 5]. Из схемы видно, что на участке сечения 0-0 происходит захват высоконапорной средой, отделившейся от потенциального ядра струи, низконапорной струи (ингибитора). Перемешиваясь между собой, высоконапорная и низконапорная среды создают пограничный слой (сечение 1-1). На участке между сечениями 1-1 и 2-2 происходит дополнительное проникновение низконапорной среды в высоконапорную.

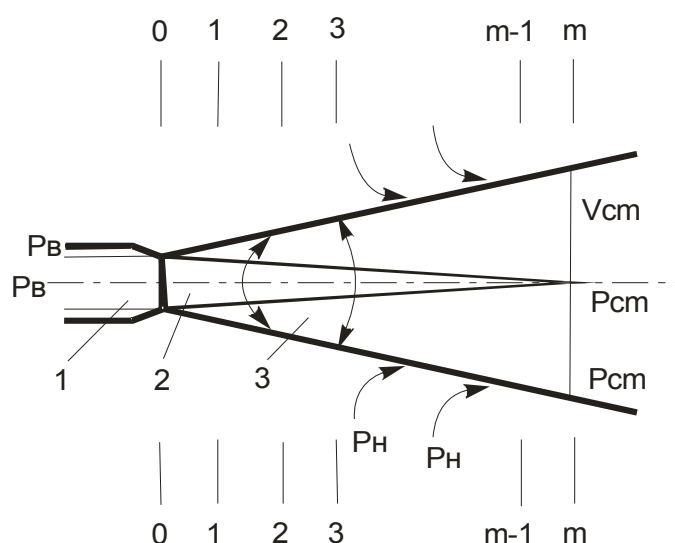


Рис. 1. Схема эжекционного струйного течения

1 – сопло; 2 – потенциальное ядро; 3 – пограничный слой;

α – угол расширения пограничного слоя; β – угол сужения потенциального ядра;

P_v, P_n, P_{cm} – давления высоконапорной, низконапорной сред и полный напор струи;

$\rho_v, \rho_n, \rho_{cm}$ – плотности высоконапорной, низконапорной сред и их смеси;

V_{cm} – скорость смеси высоконапорной и низконапорной сред в переходном сечении струи m-m

Из анализа процесса эжектирования низконапорной среды высоконапорной средой в струйных течениях следует, что количество эжектируемой среды (коэффициент эжекции K_0) по длине струи увеличивается, полный напор ее (коэффициент полного напора ψ_{cm}) уменьшается, а эффективность процесса эжекции (КПД процесса эжекции) на начальном участке струи, начиная от среза сопла, увеличивается, достигает максимума в переходном сечении струи и уменьшается на основном участке струи [6].

Наиболее эффективно процесс эжектирования будет протекать в аппарате, у которого расстояние от среза сопла (сечение 0-0), до конца камеры смешения (сечение 1-1), равно длине начального участка струи, а площадь поперечного сечения 1-1 в конце камеры смешения равна площади переходного сечения струи. Основываясь на уравнениях: сохранения массы, сохранения энергии, сохранения количества движения (импульсов), закона сохранения энергии для потока в камере смешения струйного аппарата, а также на основе вышеизложенного материала и экспериментальных исследований был спроектирован односопловый эжекционный струйный аппарат (рис. 2). В его камере смешения низконапорная среда захватывается струей по всей длине начального участка, при этом эффективность процесса эжекции струей в конце камеры смешения достигает максимума, как это следует из графика на рис. 3 [5, 6].

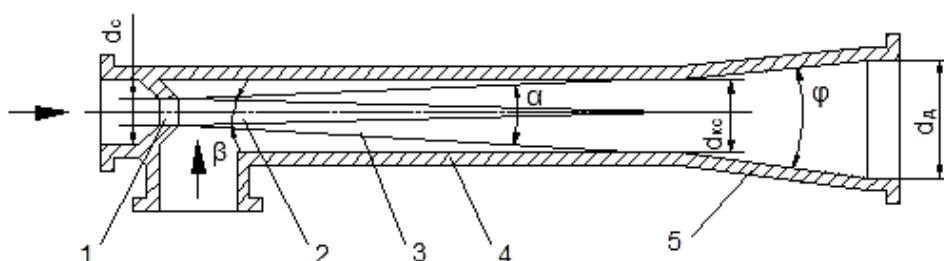


Рис. 2. Односопловый эжекционный струйный аппарат:

- 1 – сопло; 2 – потенциальное ядро струи;
 3 – пограничный слой струи; 4 – камера смешения; 5 – диффузор;
 d_c – диаметр сопла; $d_{кc}$ – диаметр камеры смешения; d_A – диаметр отверстия выхода;
 α – угол расширения пограничного слоя струи;
 β – угол расширения потенциального ядра струи, град.;
 φ – угол расширения диффузора

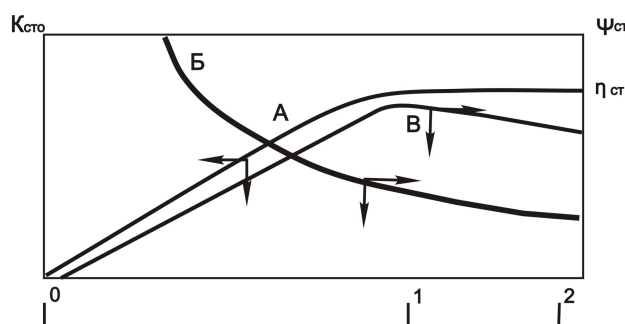


Рис. 3. Эффективность процесса эжекции:

- $K_{ст0}$ – объемный коэффициент эжекции струи; $\eta_{ст}$ – коэффициента полезного действия;
 $\psi_{ст}$ – коэффициента восстановления давления струи;
 А, Б, В – наименование величин коэффициентов $K_{ст0}$, $\psi_{ст}$, $\eta_{ст}$ по длине камеры смешения

Так как струя в конце камеры смешения ограничена стенками, процесс эжекции низконапорной среды высоконапорной средой прекращается, и кинетическая энергия не расходуется на захват низконапорной среды [5]. Выполняя камеру смешения таким образом, чтобы пограничный слой не касался стенок камеры смешения по всей длине, кроме сечения 1-1, исключаем потери энергии при трении о стенки камеры смешения. Внутри такой камеры низконапорная среда свободно проходит между стенками камеры смешения и внешними границами струи, достигая конца камеры смешения. При этом в камере смешения по всей длине статическое давление остается практически постоянным и равным статическому давлению низконапорной среды P_H .

В выполненном таким образом аппарате используется наиболее эффективная часть струи – ее начальный участок, на котором происходит захват низконапорной среды высоконапорной средой при сохранении кинетической энергии струи, достаточной для сжатия полученной в процессе эжекции смеси с максимальным КПД.

Как следует из вышеизложенного, конструктивные размеры струйного аппарата и его технологические параметры (коэффициенты эжекции, восстановления давления, полезного действия $\eta_{ст}$) зависят в основном от структуры и параметров струйного течения.

Исходя из структуры турбулентной струи, а также из структуры кавитационной струи и схемы струйного односоплового эжекционного аппарата (рис. 2), длина камеры смешения последнего будет равна длине начального участка струи [4]:

$$S_{кc} = \frac{r_c}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}. \quad (1)$$

где r_c – радиус сопла;

β – угол расширения потенциального ядра струи.

Величина диаметра камеры смешения перед диффузором, сечение 1-1, равна диаметру переходного сечения струи [4]:

$$d_{кc} = S_{кc} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} + r_c \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} \right), \quad (2)$$

где α – угол расширения пограничного слоя струи.

Для обеспечения истечения турбулентной струи с коэффициентами расхода $\mu = 0,8 \div 0,95$ применяем сопло, имеющее коноидальный профиль. Диаметр отверстия выхода такого сопла рассчитаем по формуле [4]:

$$d_c = 2 \left(\frac{G_B}{\pi \cdot V_{Я} \cdot \rho_B} \right)^{0,5}, \quad (3)$$

где $V_{Я}$ – скорость потенциального ядра;

G_B – расход жидкости через сопло;

ρ_B – плотность жидкости.

Преобразование кинетической энергии потока смеси, выходящей из камеры смешения струйного аппарата, производится в диффузоре. Для газожидкостной смеси угол расширения диффузора находится в пределах от 6° до 8° , а диаметр отверстия его выхода равняется двум диаметрам отверстия камеры смешения. Диффузор данной конструкции обеспечивает преобразование кинетической энергии потока в потенциальную энергию – энергию давления с коэффициентом восстановления $Z = 0,8 \div 0,95$, величина которого определяется из выражения:

$$Z = P_d / P_{cn}, \quad (4)$$

где P_d – давление нагнетания смеси;

P_{cn} – полное давление струи

Диаметры патрубков подвода низконапорной и высоконапорной сред определяем из условия минимальных гидравлических потерь. Данное условие выполняется, если скорость течения указанных сред в патрубках не будет превышать 5-7 м/с.

Расход высоконапорной среды, поступающей в аппарат рассчитываем из уравнения:

$$G_{BX} = V_{я} \cdot \rho_B \cdot f_{BX}, \quad (5)$$

где f_{BX} – условная площадь высоконапорной поверхность струи

Если низконапорная и высоконапорная среды состоят из нейтральных друг к другу веществ, например, из метана и воды, расход эжектируемой низконапорной среды G_H рассчитаем из уравнения:

$$G_{HX} = V_{ncx} \cdot \rho_H \cdot f_{HX}, \quad (6)$$

где f_{HX} – условная площадь низконапорной поверхность струи

Полное давление P_{cm} , развиваемое струей в конце камеры смешения, в сечении 1-1 (рис. 2), определяем из выражения:

$$P_{cm} = \left(\rho_{cm} \cdot V_{cm}^2 / 2 \right) + P_H. \quad (7)$$

где V_{cm} – скорость струи;

ρ_{cm} – плотность струи.

Величины коэффициентов эжекции K_0 , восстановления давления ψ_{cm} , полезного действия η_{cm} рассчитываем, соответственно, из выражений:

$$K_0 = \frac{G_{HX} \cdot \rho_B}{G_{BX} \cdot \rho_H}, \quad (8)$$

$$\psi_{cm} = \frac{P_{cm} - P_H}{P_B - P_H}, \quad (9)$$

$$\eta_{cm} = \frac{G_{HX} \cdot \rho_B \cdot P_H \cdot \ln \frac{P_{cm}}{P_H}}{G_{BX} \cdot \rho_H (P_B - P_{cm})}. \quad (10)$$

Таким образом, применяя зависимости, выведенные для струйных течений, можно рассчитать все основные конструктивные и технологические параметры односоплового струйного аппарата для его работы в наивыгоднейшем режиме, т.е. с максимальным КПД.

На основании теоретических и экспериментальных исследований была разработана установка (рис. 4), дающая возможность дозированно вводить ингибитор в промышленный газопровод.

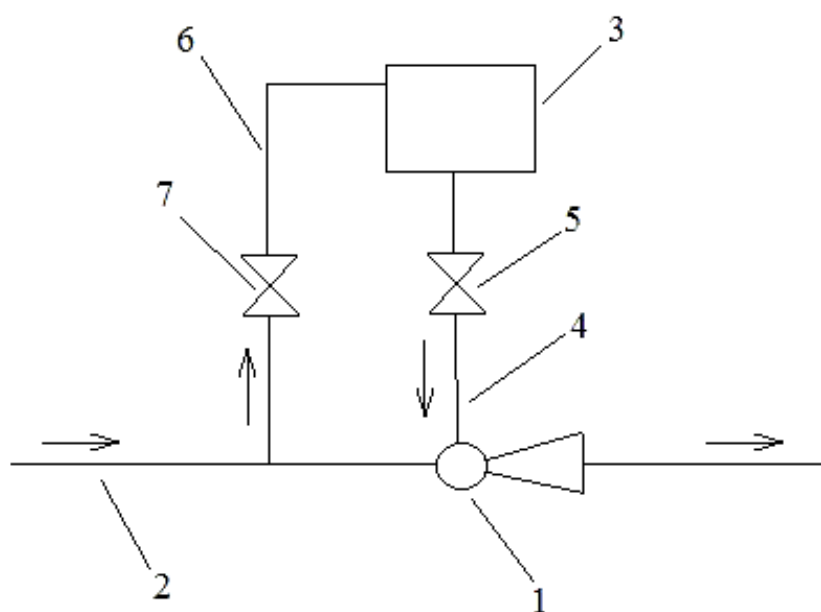


Рис. 4. Установка ввода ингибитора в промышленный газопровод:

- 1 – эжектор; 2 – газопровод; 3 – емкость; 4 – линия подачи ингибитора;
5 – клапан регулирующий подачу ингибитора в трубопровод; 6 – уравнивательная линия;
7 – клапан регулятор уравнивательной линии

Установка содержит эжектор 1, установленный в газопровод 2 и соединенный с емкостью 3 линией подачи ингибитора 4 через регулирующий клапан 5. Клапан регулятор 7 установлен на уравнивательной линии 6.

Установка работает следующим образом. По магистральному газопроводу 2 газ подается под давлением на эжектор 1, под действием давления перекачиваемого газа в эжекторе 1 создается разрежение, благодаря которому происходит приток низконапорной жидкости из емкости 3 по линии подачи ингибитора через регулирующий клапан 5, далее в эжектора 1 происходит смешивание газа и жидкости (ингибитора), причем жидкость диспергируется, на выходе из эжектора 1 давления газожидкостной смеси восстанавливается. Клапана регуляторы 5, 7 слу-

жат для регулирования подачи ингибитора и поддержания оптимального давления в емкости 3, а также для отключения установки.

Выводы

Авторами разработана методика расчета и подбор основных геометрических размеров односоплового эжекционного струйного аппарата и метод ввода ингибитора в промысловый газопровод на основе данного аппарата. Предлагаемый способ ввода ингибитора в трубопровод является более эффективным по сравнению с существующими способами, что достигается благодаря высокой степени дисперсности ингибитора на выходе из струйного аппарата. Так же данный способ позволяет снизить расход ингибитора, снизить затраты на ввод ингибитора и уменьшить или полностью предотвратить аварийность на газопроводах и компрессорных станциях, которые возникают из-за образования гидратов.

Литература

1. Дегтярев Б.В., Лутошкин Г.С., Бухгалтер Э.Б. Борьба с гидратами при эксплуатации скважин в районах севера. М.: Недра, 1969. 120 с.
2. Крылов Г.В., Степанов О.А. Эксплуатация и ремонт газопроводов и газохранилищ: Учебник для учр. сред. проф. образ. М.: Академия, 2000. 362 с.
3. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М.: Недра, 1974. 208 с.
4. Холпанов Л.П., Запорожец Е.П., Зиберт Г.К., Кащицкий Ю.А. Математическое моделирование нелинейных термогазодинамических процессов в многокомпонентных струйных течениях. М.: Наука, 1998. 320 с.
5. Соколов Е.Я., Зингер Н.М. Струйные аппараты. 2-е изд. М.: Энергия, 1970. 288 с.
6. Маланичев В.А. Система газовых эжекторов и дифференциальный эжектор // Прикладная механика и техническая физика. 1991. № 6. С. 10 - 15.

METHOD OF INPUT INHIBITOR IN FIELD PIPELINE WITH THE HELP OF ONE-NOZZLE EJECTIONAL JET DEVICE

A.V. Polyakov¹, I.A. Tereshenko, S.I. Boiko, P.S. Kynina
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia
e-mail: ¹polyakov0804@yandex.ru

Abstract. Solved the optimization problem of the system for input of inhibitor (methanol) to prevent hydrate formation by the development of device on the basis of one-nozzle ejectional jet device, for which developed methodology of calculation of the basic geometrical parameters. This allows to reduce the consumption of inhibitor and reduce or completely prevent accidents at gas pipelines and compressor stations due to the hydrates formation.

Keywords: gas pipeline, ejector, hydrates formation, inhibitor, low-pressure environment, high-pressure environment, cavitation, ejection

References

1. Degtyarev B.V., Lutoshkin G.S., Bukhgalter E.B. Bor'ba s gidratami pri ekspluatatsii skvazhin v raionakh Severa (Hydrates control in the well operations in Northern areas). Moscow, Nedra, 1969. 120 p.
2. Krylov G.V., Stepanov O.A. Ekspluatatsiya i remont gazoprovodov i gazo-khranilishch (Maintenance and repair of gas pipelines and storage facilities): Textbook. Moscow, Akademiya, 2000. 362 p.
3. Makogon Yu.F. Gidraty prirodnykh gazov (Hydrates of natural gas). Moscow, Nedra, 1974. 208 p.
4. Kholpanov L.P., Zaporozhets E.P., Zibert G.K., Kashchitskii Yu.A. Matematicheskoe modelirovanie nelineinykh termogidrogazodinamicheskikh protsessov v mnogokomponentnykh struinykh techeniyakh (Mathematical modeling of non-linear thermohydrodynamic processes in multi-jet flows). Moscow, Nauka, 1998. 320 p.
5. Sokolov E.Ya., Zinger N.M. Struinye apparaty (Jet devices). 2 ed. Moscow, Energiya, 1970. 288 p.
6. Malanichev V.A. A gas ejector system and a differential ejector, *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, Volume 32, Number 6, pp. 828-833, DOI: 10.1007/BF00850622 (Transl. from: Malanichev V.A. Sistema gazovykh ezhektorov i differentsial'nyi ezhektor, *Prikladnaya Mekhanika i Tekhnicheskaya Fizika*, 1991, Issue 6, pp. 10-15)