

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ТРУБОПРОВОДОВ

© 2017 В.И. Санчугов, В.М. Решетов

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 20.12.2017

В статье рассматриваются вопросы применения гидромеханической очистки трубопроводов на стадиях поставки и готовых трубопроводов после изготовления, основанной на использовании специальных очистных элементов, изготовленных из металлической спирали и перемещающихся в трубопроводе под действием потока жидкости. В статье приведены схема и технология гидромеханической очистки, а также рекомендации по изготовлению очистных элементов и оценке эффективности гидромеханической очистки. Представленный гидромеханический метод очистки позволяет обеспечить высокую степень очистки и сглаживание шероховатости стенок трубопровода, что в свою очередь позволит в дальнейшем снизить адгезию загрязнений на стенках трубопровода.

Ключевые слова: очистка, промывка, пульсирующий поток, трубопровод, режим бегущей волны, эффективность очистки

Для очистки трубопроводов на стадиях поставки и после их изготовления в настоящее время применяются различные методы: механические, гидропневматические, гидромеханические и химические. Механический метод очистки заключается в протаскивании через загрязненный трубопровод различных очистных приспособлений (щеток, ершей, подпружиненных ножей, скребков, стальных дисков), которые разрыхляют или срезают и удаляют отложения. Механическая очистка универсальна и дает возможность практически полностью удалить любые отложения, однако этот способ очень трудоемок и зачастую приводит к повреждению трубопровода.

Гидравлический метод очистки трубопроводов заключается в очистке трубопроводов жидкостью с повышенной скоростью. Значительное распространение получил метод гидропневматической очистки трубопроводов, сущность которого состоит в том, что в очищаемый трубопровод подается газожидкостная смесь, которая разрушает и удаляет отложения от стенок. Однако гидравлические и гидропневматические способы очистки трубопроводов пригодны для очистки только от легкоудаляемых загрязнений и отложений.

В настоящее время применяется несколько методов гидромеханической очистки. Сущность их заключается в том, что в поток жидкости, подаваемой в трубопровод, вводятся

различные очистные элементы, например шарики (пластмассовые, резиновые, с губчатой поверхностью, с абразивными включениями). Однако с помощью таких шариков можно очищать трубопровод только от легкоудаляемых отложений.

Предлагаемый гидромеханический метод очистки [1, 3] – метод, основанный на использовании потока моющей жидкости и специальных очистных элементов (ОЭ), изготовленных из металлической спирали. Очистные элементы перемещаются жидкостью внутри трубопровода и механически воздействуют на частицы загрязнений и снижают шероховатость внутренней поверхности трубопроводов.

Для очистки прямых цилиндрических трубопроводов перед изготовлением и имеющих длины 6...9 м. устройства ввода - вывода размещают на концах трубопроводов.

Для очистки готовых трубопроводов после изготовления (после резки, гибки, оснащения присоединительной арматуры) трубопроводы собирают в линии длиной 20...50 м., размещают их на поддонах и подсоединяют к устройствам ввода-вывода с одной стороны стенда.

Многочисленное силовое воздействие ОЭ на загрязненную внутреннюю поверхность трубопровода обеспечивают приданием ОЭ возвратно-поступательного движения по очищаемому трубопроводу. Для этого в гидравлической системе стенда (рис. 1) гидромеханической очистки трубопроводов (далее - гидравлическая система) предусматривают электрогидравлический распределительный элемент (далее - электрогидравлический распределитель), изменяющий направления течения моющей жидкости при прохождении ОЭ всей длины очищаемого трубопровода (магистрала).

Санчугов Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок. E-mail: sanchugov.vi@yandex.ru

Решетов Виктор Михайлович, кандидат технических наук, заведующий лабораторией пневмогидросистем кафедры автоматических систем энергетических установок. E-mail: vmresh@rambler.ru

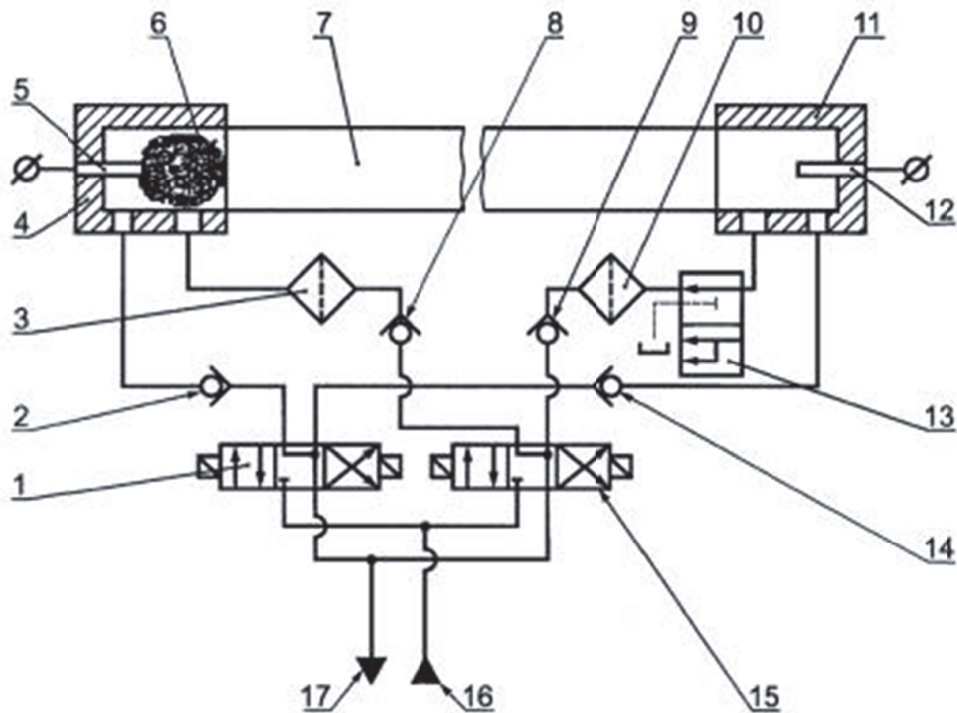


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема стенда гидромеханической очистки трубопроводов

Для обеспечения надежной и эффективной работы гидравлической системы разделяют потоки чистой (подводимой) и загрязненной (сливаемой из трубопровода) моющей жидкости и защищают электрогидравлический распределитель от выносимых загрязнений.

Гидравлическая система работает следующим образом. Моющую жидкость под давлением от насосно-фильтрующей станции через штуцер нагнетания 16 подводят к электрогидравлическим распределителям 1 и 15 и при подаче электрического сигнала от датчика конечного положения ОЭ 5 электрогидравлические распределители переключаются влево. Жидкость проходит через электрогидравлический распределитель 1, обратный клапан нагнетания 2, поступает к ОЭ 6, находящемуся в устройстве ввода-вывода ОЭ 4, и перемещает его в очищаемом трубопроводе 7. В процессе перемещения ОЭ оказывает силовое воздействие на внутреннюю поверхность трубопровода, осуществляет отрыв частиц загрязнений, которые совместно с потоком моющей жидкости поступают через фильтр тонкой очистки 10, обратный сливной клапан 9, электрогидравлический распределитель 15 в штуцер слива 17 и далее в систему фильтрации насосно-фильтрующей станции. Отбор проб для гранулометрического анализа загрязненности осуществляют через пробоотборник 13.

Пройдя всю длину очищаемого трубопровода 7, ОЭ воздействует на датчик конечного положения ОЭ 12, который через время задержки, необходимое для переноса частиц загрязнений в насосно-фильтрующую станцию и промывки

самого ОЭ чистой моющей жидкостью, подает электрический сигнал на электрогидравлические распределители 1 и 15. Электрогидравлические распределители переключаются вправо, и жидкость из штуцера нагнетания 16 через электрогидравлический распределитель 1 и обратный клапан нагнетания 14 перемещает ОЭ из устройства ввода-вывода ОЭ 11 в противоположную сторону. Загрязненная жидкость через фильтр тонкой очистки 3, обратный сливной клапан 8, электрогидравлический распределитель 15 направляется в штуцер слива 17.

ОЭ выполняют из материала сетчатого или проволочного типа, имеющего пористую структуру. Наиболее перспективным является материал в виде однородной пористой массы (далее - МП) из проволочной спирали. Диаметр спирали устанавливают равным десяти диаметрам проволоки.

ОЭ из МП должен обладать:

- активной пористостью (отсутствием тупиковых и замкнутых пор);
- упругостью и износостойкостью;
- стабильностью механических характеристик в эксплуатации.

МП характеризуют пористостью, средним диаметром пор и удельной поверхностью пор. Пористость Π (долю пустот в единице объема МП) определяют по формуле:

$$\Pi = \frac{V_{\Pi}}{V} \quad \text{или} \quad \Pi = \frac{1 - \sigma_{cn}}{\gamma_m V} = 1 - \frac{\gamma_o}{\gamma_m},$$

где V_{Π} – объём пустот в МП, мм³;

- V – полный объём МП, мм³;
- $\sigma_{сн}$ – масса проволочной спирали в МП, г;
- γ_m – удельная масса проволоки, г/мм³;
- γ_o – удельная масса пористого образца ОЭ, г/мм³.

Рекомендуемые значения пористости – от 0,86 до 0,93.

Средний диаметр пор МП $d_{с.д.п}$, мм, равный гидравлическому диаметру проходного сечения пор d_r определяют по формуле:

$$d_r = \frac{\Pi d_{np}}{1 - \Pi}$$

где d_{np} – диаметр проволоки МП, мм.

Рекомендуемые диаметры проволоки – от 0,09 до 0,3 мм.

Материал, из которого изготавливают проволоку для МП, определяет прочностные и упругие свойства ОЭ.

Материал проволоки выбирают из условий:

- обеспечения прочностных и упругих характеристик ОЭ;
- исключения механического повреждения очищаемой поверхности (то есть поверхностная твердость материала проволоки не должна превышать поверхностную твердость материала очищаемого трубопровода).

Для изготовления ОЭ из МП рекомендуется

применять проволоку из коррозионно-стойкой стали Х18Н10Т или Х20Н80 и нихрома ЭИ708. Основные характеристики материала проволоки для изготовления ОЭ представлены в табл. 1.

Геометрическая форма ОЭ (рис. 2) технологична при изготовлении, обеспечивает требования упругости, жесткости, гидравлического сопротивления, износостойкости, а также перемещение ОЭ по трубопроводу произвольной конфигурации.

Под ресурсом работы ОЭ понимается то максимальное расстояние, которое он проходит по очищаемому трубопроводу до начала разрушения витков спирали вследствие износа (истирания) материала проволоки.

Износ материала ОЭ определяется величиной силы трения ОЭ о стенку трубопровода. Сила трения ОЭ определяет усилие, потребное для страгивания ОЭ (силу трения покоя) и обеспечивающее гарантированное перемещение ОЭ.

Опытными исследованиями установлено, что в диапазоне пористостей от 0,86 до 0,93, диаметров проволоки $d_{np} = 0,09...0,30$ мм и деформаций от 0,25 до 1,50 мм гарантированное перемещение ОЭ, выполненных в соответствии с нашими рекомендациями, осуществляется при перепадах давления жидкости, не превышающих 1 МПа (10 кгс/см²).

Таблица 1. Основные характеристики материала проволоки для изготовления ОЭ

Материал	Предел прочности, МПа (кгс/см ²)	Твердость, НВ	Диаметр проволоки, мм	Упругая константа
Х18Н10Т	550 (5500)	270 - 360	0,09 - 0,20	0,290
ЭИ708	900 (9000)	300 - 340	0,09 - 0,15	0,315
Х20Н80	750 (7500)	300 - 330	0,20 - 0,30	0,164

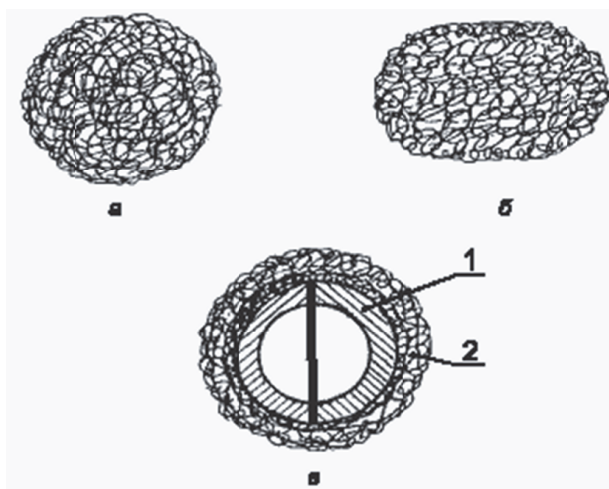


Рис. 2. Геометрические формы очистных элементов:
 а - однородный сферический; б - однородный, цилиндрический со скругленными концами;
 в - комбинированный сферический;
 1 - центральное непроточное тело; 2 - оболочка из МП

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ОЧИСТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Изготовление однородных сферических очистных элементов.

Однородные сферические ОЭ применяют для гидромеханической очистки трубопроводов наружным диаметром от 12 до 25 мм.

Массу проволочной спирали для изготовления сферических ОЭ $\sigma_{сп}$, г, определяют по формуле:

$$\sigma_{сп} = 0,0033R_{ОЭ}^3,$$

где $R_{ОЭ}$ – радиус ОЭ, мм.

Основные параметры однородных сферических ОЭ представлены в табл. 2.

Процесс изготовления однородного сферического ОЭ включает в себя следующие основные технологические операции:

- навивку спирали – растяжение спирали с шагом, равным диаметру спирали;
- формирование 70 % спирали в клубок диаметром на 5 % - 10 % больше диаметра изготавливаемого ОЭ;
- наматывание остальных 30 % спирали на клубок с силой не более 3 - 5 Н;
- заправку оставшегося свободного конца спирали внутрь клубка;
- укатку заготовки между двумя пластинами до диаметра, равного $D_{ОЭ}$, круговыми движениями с силой от 20 до 30 Н;
- промывание готового ОЭ в технологическом бензине, очищенном до 5-го класса чистоты по ГОСТ 17216 [2], просушивание и упаковку в чистый полиэтиленовый пакет.

Основная особенность рассматриваемого процесса заключается в том, что количество выносимых частиц с единицы поверхности трубопровода в десятки и сотни раз превышают количество частиц, выносимых при других технологиях очистки. Объясняется это тем, что трение ОЭ о стенку трубопровода снижает шероховатость поверхности трубопровода, частицы которой удаляются вместе с частицами загрязнений, традиционно выносимыми при очистке. Кроме того, изнашивается и сам очистной элемент.

В качестве примера на рисунке (рис. 3) представлены результаты экспериментов по определению количества выносимых из трубопровода частиц в объёме стандартной пробы (100 см³) в зависимости от числа циклов очистки. Цикл очистки состоял из двух двойных проходов очистного элемента и двухминутной прокачки жидкости при неподвижном очистном элементе. Параметры трубопровода из нержавеющей стали: длина 6 м, диаметр проходного сечения 13,6 мм. Расход жидкости АМГ-10 составил 24 л/мин. Количество частиц подсчитывалось по размерным фракциям ГОСТ 17216-2001.

Графики свидетельствуют о том, что за окончание процесса очистки может быть принято начало линейного пологого участка кривой числа выносимых загрязнений, поскольку при этом основная масса загрязнений удалена из трубопровода, процесс завершен и происходит равномерный износ самого ОЭ.

Для оценки эффективности гидромеханической очистки предложен комплекс параметров:

- количество двойных проходов ОЭ по трубопроводу;
- контроль загрязненности стандартной пробы жидкости ($V=100 \text{ см}^3$) по размерным фракциям ГОСТ 17216-2001 после десяти проходов ОЭ и прокачки жидкости в течение 5...6 минут:

$$N_{ji} = (N_{jivых} - N_{jievх}) \Big|_{t=5 \text{ мин}},$$

где $N_{jivых}$ – количество частиц загрязнений i -ой размерной фракции на выходе трубопровода;

$N_{jievх}$ – количество частиц загрязнений i -ой размерной фракции на входе в очищаемый трубопровода.

Таким образом, разработан гидромеханический метод очистки трубопроводов сочетающий в себе достоинства механического и гидравлического методов и позволяющий обеспечить высокую степень очистки и сглаживание шероховатости стенок трубопровода, что в свою очередь позволит в дальнейшем снизить адгезию загрязнений на стенках трубопровода.

Таблица 2. Основные параметры однородных сферических ОЭ

Параметр трубопровода		Параметр ОЭ			
Наружный диаметр D_H	Толщина стенки S	Диаметр проволоки $d_{пр}$	Диаметр спирали $d_{сп}$	Материал	Превышение конечного диаметра изготовленного ОЭ $D_{ОЭ}$ по отношению к диаметру ($D_H - 2S$)
От 12 до 25	По ГОСТ 19277	От 0,09 до 0,15	От 1,0 до 1,5	ЭИ708 X18H10T	От 0,4 до 0,6

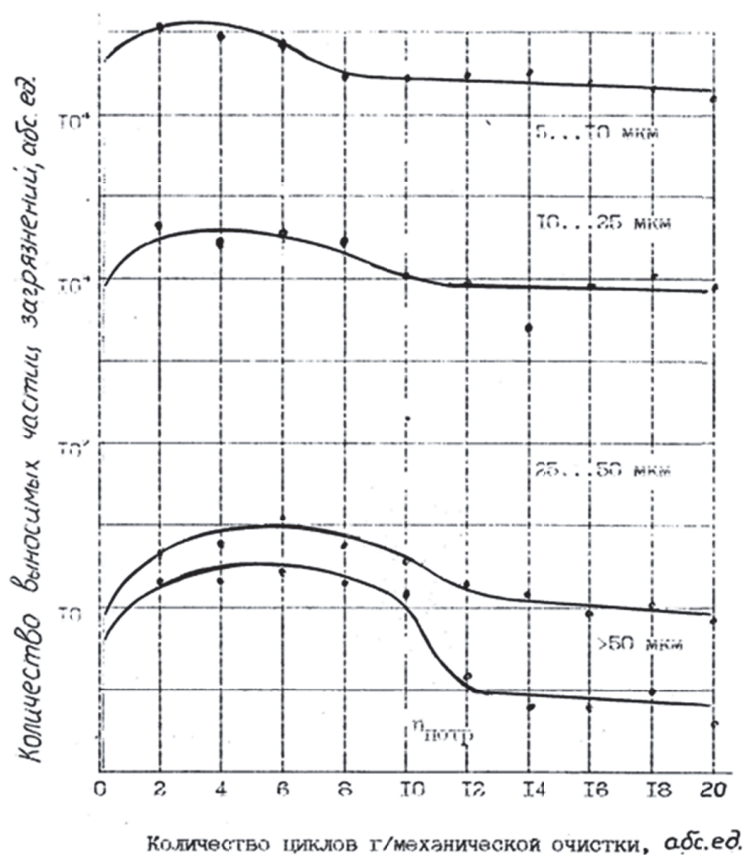


Рис. 3. Результаты экспериментов по определению количества выносимых из трубопровода частиц в объёме стандартной пробы (100 см³) в зависимости от числа циклов очистки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 31246-2004. Чистота промышленная. Метод очистки гидромеханический трубопроводов газовых и жидкостных систем машин и механизмов от загрязнений. Введ. 2005-09-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2005. - 12 с.
- ГОСТ 17216-2001. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей. Введ. 2003-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 8 с.
- Sanchugov, V.I., Reshetov V.M., Turusin S.V. Main directions in improvement of hydraulic cylinders internal surface cleaning *Procedia Engineering* 106 (2015) 164-169

HYDROMECHANICAL CLEANING OF PIPELINES

© 2017 V.I. Sanchugov, V.M. Reshetov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

In article questions of application of hydromechanical cleaning of pipelines at stages of the delivery and ready pipelines after production based on use of the special clearing elements made of a metal spiral and moving in the pipeline under the influence of a liquid stream are considered. The scheme and technology of hydromechanical cleaning and also the recommendation about production of clearing elements and assessment of efficiency of hydromechanical cleaning are provided in article. The presented hydromechanical method of cleaning allows to provide high extent of cleaning and smoothing of roughness of walls of the pipeline that in turn will allow to reduce further adhesion of pollution on pipeline walls.

Keywords: cleaning, washing, the pipeline, efficiency of cleaning

Valery Sanchugov, Doctor of Technics, Professor at the Automatic Systems of Power Plants Department.

E-mail: sanchugov.vi@yandex.ru

Viktor Reshetov, Candidate of Technics, Head of the Laboratory of Hydraulic and Pneumatic Systems at the Automatic Systems of Power Plants Department.

E-mail: vmresh@rambler.ru