

Рис. 3. Схема упрочнения образцов для испытаний

Проведенные испытания образцов (рис. 3) на износостойкость согласно стандарту ASTM B611-85 и прочность согласно стандарту ИСО ISO/CD 3327 позволили установить [4]:

- повышение износостойкости в 1,25–1,3 раза;
- повышение прочности на изгиб в 1,2–1,22 раза.

Таким образом, технология комбинированного упрочнения ОИЛУ + ВМО позволяет существенно повысить механические свойства стали 20Х, что делает ее перспективной для упрочнения ответственных деталей машин.

Литература

1. Бабичев А. П., Бабичев И. А. Основы вибрационной технологии. Изд. 2е, перераб. и доп. Ростов-н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2008г. 694 с.
2. Пинахин И. А., Иванов В. В., Черниговский В. А. Исследование изменения наноструктуры твердых сплавов после объемного импульсного лазерного упрочнения // Наноинженерия. Научно-технический журнал. М.: Изд-во «Машиностроение». 2014. № 2. С. 13–17.
3. Бабичев А. П., Иванов В. В., Худалей С. Н., Мотренко П. Д., Анкудимов Ю. П., Бабичев И. А. Вибрационная механохимия в процессах отделочно-упрочняющей обработки и покрытий деталей машин: монография. Ростов н/Д.: Издательский центр ДГТУ, 2012. С. 204.
4. Пинахин И. А., Тоеский С. А. Комплексное исследование влияния объемного импульсного лазерного упрочнения (ОИЛУ) на стойкость твердосплавного режущего инструмента // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. Научный журнал. Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2013. № 1. С. 100–103.

УДК 550.3

**Керимов Абдул-Гапур Гусейнович, Волошина Татьяна Владимировна,
Сторчак Екатерина Викторовна, Керимова Елизавета Гапуровна**

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПРОМЫВКИ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ПРОБОК

В статье рассматривается комплекс автоматизированного контроля параметров технологического процесса очистки скважины от песчанно-глинистых пробок.

Ключевые слова: разработка, автоматизированный комплекс, скважина, песчанно-глинистые пробки, клапан, эжектор.

**Kerimov Abdul-Gapur G., Voloshina Tatyana V., Storchak Ekaterina V., Kerimova Elizaveta G.
AUTOMATED SYSTEM FOR SAND-CLAY JAM WASHING**

The item offers a view on the comprehensive control over the technological parameters of cleaning wells from sand-clay jams.

Key words: development, automated complex, well, sand-clay jam, valve, ejector.

Для проведения капитального ремонта скважин с применением новых технологий промывки песчано-глинистых пробок с использованием энергии пласта в скважинах газовых месторождений и ПХГ актуальным является разработка комплекса автоматизированного контроля параметров технологического

процесса. Эффективное выполнение операции по размыву песчано-глинистых пробок предполагает, что процесс должен быть не только контролируемым, но также программно управляемым. Для предотвращения поглощения промывочного агента следует оперативно реагировать на изменения давления в системе «скважина – пласт» путем оперативной манипуляцией давлением на выходе из скважины.

При автоматизированном контроле параметров технологического процесса очистки скважины от песчано-глинистой пробки возможны разнообразные варианты обвязки скважины контрольно-измерительными и дистанционно управляемыми устройствами, но в любом случае следует предусмотреть две части проектируемого автоматизированного комплекса – механическую и электронную.

Посредством автоматизированного комплекса представляется возможным выполнять контроль следующих параметров: температуры, расхода и давления газа в нагнетательной линии подачи газовой составляющей в скважину, а также температуры, расхода и давления жидкости в нагнетательной линии подачи пенообразующей жидкости (ПОЖ).

В разработанном автоматизированном варианте промывки песчано-глинистых пробок преобладают функции контрольно-измерительного характера, соответственно обвязка скважины при выполнении технологического процесса включает в себя контрольно-измерительные приборы (КИП). С помощью разработанной системы можно измеряемую информацию о параметрах газовой и жидкостной составляющих технологического процесса передавать в персональный компьютер с периодичностью, задаваемой оператором. Единственным дистанционно управляемым устройством в обвязке скважины является управляемый клапан с электроприводом, с помощью которого обеспечивается управляемый (дозированный) приток газа из пласта в процессе промывки скважины при удалении глинисто-песчаных пробок.

Схема соединений первичных преобразователей через коммутаторы с ЭВМ при очистке скважины от песчано-глинистых пробок представлена на рис. 1.

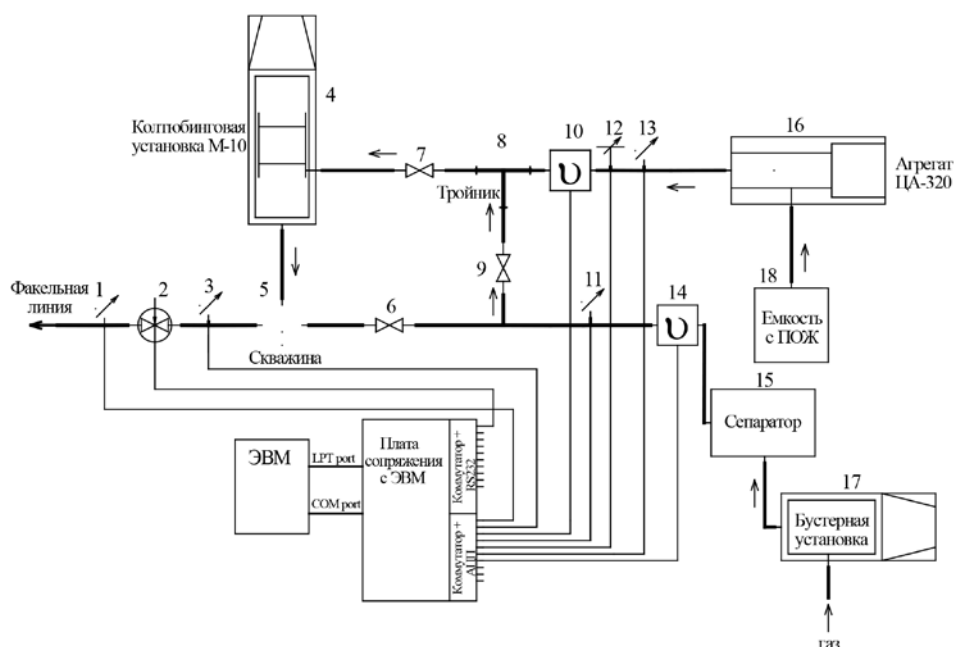


Рис. 1. Схема соединений первичных преобразователей через коммутаторы с ЭВМ в системе обвязки скважины при промывке песчано-глинистых пробок:

- 1 – манометр; 2 – дистанционно управляемый клапан; 3 – манометр; 4 – колтюбинговая установка типа М-10; 5 – скважина; 6, 7, 9 – задвижки; 8 – тройник; 10 – расходомер по жидкости; 11, 13 – манометры; 12 – термометр; 14 – расходомер по газу; 15 – сепаратор; 16 – цементировочный агрегат; 17 – бустерная установка; 18 – емкость для ПОЖ

При управлении динамическим процессом персональный компьютер выступает в роли контрольно-измерительного прибора, работающего в режиме реального времени, что позволяет системе оперативно срабатывать на изменения давления на выкидной линии, предотвращая поглощение пены и загрязнение ПЗП пласта. При разработке алгоритма работы системы (используя полученные данные геофизического сопровождения) были определены оптимальные значения параметров пены, позволяющие создавать условия для дозированного притока газа из пласта, особенно в конце промывки скважины, обеспечивающего очистку не только забоя, но и ПЗП пласта, а также шаг квантования (минимальное время между опросами датчиков КИП). Шаг квантования приняли равным 10 секундам, времени, необходимого для полного раскрытия управляемого клапана. По разработанной схеме обвязки представляется возможным контролировать следующие параметры: расход и давление газа в напорной линии подачи газовой составляющей в скважину 5 через безмуфтовую длинномерную трубу (БДТ), а также расход, температуру и давление ПОЖ в напорной линии подачи ПОЖ.

По технологии возможны несколько вариантов подачи газовой составляющей в БДТ: газ из соседней скважины, газ из шлейфа через бустерную установку 17 и сепаратор 15.

Необходимый объем ПОЖ в БДТ подается цементировочным агрегатом 16 из емкости 18 через тройник 8 и колтюбинговую установку М-10 (позиция 4 на рисунке 1). Для контроля динамических параметров жидкости в трубопроводе подачи ПОЖ в БДТ на прямолинейном участке напорной линии в посадочных узлах второй напорной линии устанавливаются первичные преобразователи температуры 12, расхода 10 и давления 13 ПОЖ.

Для контроля и управления динамическим процессом на факельной линии установлены два манометра 1 и 3, а также дистанционно управляемый клапан 2 (или управляемая задвижка с электроприводом). Основное предназначение дистанционно управляемого клапана – регулирование противодействия на пласт во время проведения операции по очистке скважины от песчано-глинистой пробки. В момент образования сквозного отверстия при промывке пробки следует оперативно сбалансировать систему «скважина – пласт». Балансировка осуществляется путем изменения противодействия на пласт изменением поперечного сечения трубопровода на выкидной линии при помощи дистанционно управляемого клапана.

При проектировании электронных схем автоматизированного комплекса были детально изучены и отобраны необходимые первичные преобразователи, вспомогательное оборудование и дистанционно управляемый клапан.

Регулирующий клапан предназначен для управления потоком среды (регулирование или отсекание) и представляет собой односедельный клапан с направлением потока вверх, с ввинчиваемым седлом (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид регулирующего клапана

В регулирующем клапане может использоваться пневматический мем-бранный привод с несколькими пружинами, давление питания которого 6 кгс/см² (6,0 бар). Конструкция с несколькими пружинами обеспечивает предварительную нагрузку, исключая необходимость в настройке пружин привода. Привод применяется для регулирования и работы в режиме «от-крыт – закрыт», с позиционером или без него. Клапан комплектуется встроенным контроллером ОХ/С2000.

Клапаны имеют некоторые преимущества перед задвижками при их использовании для дистанционного управления технологическим процессом:

- относительная простота конструкций;
- устойчивая работа в эрозионных, агрессивных средах и при высоких уровнях шумов;
- клапаны с поступательным движением штока наилучшим образом подходят для применения при высоких давлениях или больших значениях перепада давления;
- широкий диапазон размеров (от 15 до 900 мм) позволяет подобрать клапан, который наилучшим образом будет отвечать поставленным требованиям.

Схема, указанная на рис. 1, представляет интерес, когда при промывке пробки используются аэрированные жидкости или пенные растворы. В этой схеме под п. 8 подразумевается тройник, однако когда мощности используемого оборудования для промывки пробки должны обладать большой производительностью вместо тройника авторы предлагают использовать струйный аппарат – эжектор. Эжектор – это классический струйный аппарат, в котором давление одного (пассивного) потока увеличивается за счет его смешения с другим (активным) потоком, имеющим более высокое давление.

Регулируемые эжекторы обеспечивают устойчивую экономичную работу в переменных режимах. Пенообразующая жидкость, прокачиваемая агрегатом через эжектор, истекает из сопла с большой скоростью в камеру смешения. В результате этого давление в приемной камере эжектора снижается, происходит подсос газа из шлейфа или воздуха от компрессора. Потоки жидкости и эжектируемого газа смешиваются в камере смешения. В диффузоре происходит выравнивание скорости двух потоков, кинетическая энергия превращается в энергию напора, которая превышает давление в шлейфе или давление, развиваемое компрессором.

Основными недостатками известных эжекторов является то, что они не позволяют: 1) обеспечить одновременное изменение положения трех основных, взаимосвязанных параметров эжектора – поперечного сечения камеры смешения, поперечного сечения активного сопла, расстояния от сопла до камеры смешения; 2) производить плавное и точное изменение положения трех основных, взаимосвязанных параметров, в соответствии со стандартными зависимостями параметров эжектора [1, 2].

Напор, производительность и коэффициент эжекции эжектора определяются диаметрами сопла и камеры смешения, а также расстоянием от сопла до камеры смешения.

Объемный коэффициент эжекции (отношение объемов эжектируемой среды к рабочей жидкости) U_0 при условии $P_c \geq 1$ кг/см² определяется по (1):

$$U_0 = 0,85 \sqrt{\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c}} - 1, \quad (1)$$

где

$$\Delta P_p = P_p - P_r;$$

$$\Delta P_c = P_c - P_r;$$

P_p – давление эжектирующего (рабочего) потока, т.е. давление, развиваемое агрегатом на входе в эжектор, кг/см²; P_r – давление эжектируемого потока (давление в шлейфе или давление, развиваемое компрессором), кг/см²; P_c – давление смешанного потока, т.е. давление на выходе из эжектора, кг/см².

Отношение площадей сечения камеры смешения f_3 и сопла f_{P1} может быть выражено следующим условием 2:

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} \approx \left(\frac{f_3}{f_{p1}} \right)_{\text{опт}} \quad (2)$$

Существуют стандартные зависимости параметров эжектора 3:

$$U_0 = f \left(\frac{\Delta P_p}{\Delta P_c} \right) \text{ и } U_0 = f \left(\frac{P_c}{P_p} \right). \quad (3)$$

При постоянном значении давления эжектирующего (рабочего) потока P_p увеличение отношения

$$\left(\frac{f_3}{f_{p1}} \right)_{\text{опт}}$$

приводит к увеличению коэффициента эжекции и снижению давления смеси P_c и наоборот.

Устойчивая работа эжектора сохраняется при значениях

$$P_c = 0,3 \div 0,55 P_p.$$

Для нормальной работы эжектора необходимо строгое соблюдение соосности камеры смешения и сопла, а также расстояния от сопла до цилиндрической части камеры смешения. Это расстояние должно быть равным 1 – 1,5 диаметрам камеры смешения.

Выбор того или иного диаметра сопла и соответственно диаметра камеры смешения определяется необходимой степенью аэрации пены, давлением смешанного потока.

Исходя из этого, перемещения подвижных частей эжектора должны подчиняться единому алгоритму. Изменение одного из параметров не приведет к ожидаемому результату.

Для динамического изменения необходимых параметров в регулируемом эжекторе было предложено использовать приводы с шаговыми двигателями. Шаговые двигатели позволяют вращаться не только на заданное количество дискрет, но и с заданной скоростью. Управление шаговыми двигателями осуществляется микропроцессорным блоком.

Момент вращения шагового двигателя гораздо больше вращающего момента асинхронных, синхронных или электродвигателей постоянного тока при равной мощности и примерно одинаковых габаритах. Следовательно, при использовании шагового двигателя достигается минимизация привода по массе и потреблению электроэнергии. Шаговый двигатель может вращаться с частотой от 0,05 до 500 оборотов в минуту без потери момента вращения, следовательно, из схемы привода можно исключить промежуточный редуктор. Широкий диапазон регулировки скорости вращения шагового двигателя обеспечивает низкую начальную скорость вращения при включении муфты двигателя и реверсе, что исключает износ муфты из-за ударных нагрузок. Управление шагового двигателя позволяет совершить поворот вала двигателя на заданный угол, следовательно, такой привод может быть использован для плавного регулирования подачи иглы и перемещения сопла.

Разработанный одним из авторов регулируемый эжектор (рис. 3) содержит: корпус 9, активное сопло 16, приемную камеру 14, камеру смешения 13 с диффузором 10, патрубок для подачи газа 12, патрубок для подачи ПОЖ 20. Подстройка под режимные параметры камеры смешения осуществляется механизмом регулирования размеров камеры смешения, состоящим из иглы 11, изменяющей размер камеры смешения, управляющего двигателя 1, муфты 2, редуктора 3 для центрирования иглы 11, системы уплотнителей 8 [3].

Подстройка под режимные параметры активного сопла осуществляется механизмом регулирования размеров активного сопла, состоящим из иглы 17, изменяющей размер активного сопла управляющего двигателя 32, муфты 31, редуктора 30, присоединительного корпуса 29, винтовой пары 28, шпонки 27, арматуры 23 для центрирования иглы 17, системы уплотнителей 22. Подстройка под режимные параметры приемной камеры осуществляется механизмом регулирования размеров приемной камеры, состоящим из управляющего двигателя 24, муфты 25, редуктора 15, шестеренчатой пары 26, винтовой пары 33, системы уплотнителей до патрубка подачи ПОЖ 18 и после 21, окошка 19, позволяющего обеспечить беспрепятственную подачу ПОЖ в активное сопло.

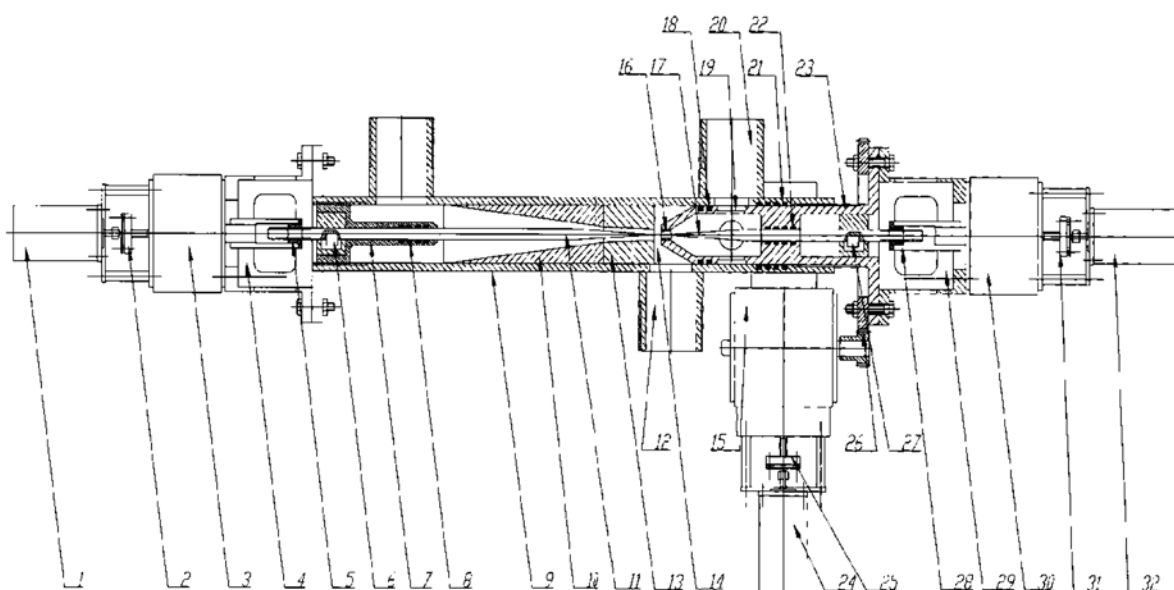


Рис. 3. Конструкция регулируемого эжектора:

1 – шаговый управляющий двигатель; 2 – муфта; 3 – редуктор; 4 – присоединительный корпус; 5 – винтовая пара механизма подачи иглы; 6 – шпонка; 7 – арматуры для центрирования иглы; 8 – система уплотнителей; 9 – корпус эжектора; 10 – диффузор; 11 – игла; 12 – патрубок подачи газа; 13 – камера смешения; 14 – приемная камера; 15 – редуктор; 16 – активное сопло; 17 – игла; 18 – система уплотнителей до патрубка подачи ПОЖ; 19 – окно; 20 – патрубок для подачи ПОЖ; 21 – система уплотнителей после патрубка подачи ПОЖ; 22 – система уплотнителей; 23 – арматура для центрирования иглы; 24 – шаговый управляющий двигатель; 25 – муфта; 26 – шестеренчатая пара; 27 – шпонка; 28 – винтовая пара механизма подачи иглы в сопло; 29 – присоединительный корпус к арматуре; 30 – редуктор; 31 – муфта; 32 – шаговый управляющий двигатель

Эжектор работает следующим образом: активная среда через входной патрубок 20 поступает в сопло, из сопла 16 поступает в камеру смешения 13, куда поступает и пассивная среда из патрубка 12, смешивается с последней, затем в диффузоре 10 статическое давление смеси повышается, что обеспечивает подачу смеси потребителю. При продольном перемещении иглы 11 в камере смешения 13 изменяется проходное сечение камеры смешения 13, обеспечивая при этом подстройку эжектора под режимные параметры, перемещение иглы осуществляется механизмом подачи иглы. Механизм подачи иглы в камеру смешения 13 выполнен в виде винтовой пары 5. При повороте гайки винтовой пары 5 игла 11, опираясь на шпонку 6, совершает продольное перемещение в камере смешения 13. Шпонка 6 не позволяет проворачиваться игле, продольно перемещаясь в пазе. Поворот осуществляется шаговым двигателем 1 через редуктор 3. Шаговый двигатель 1 соединен с редуктором 3 через муфту 2, позволяющую компенсировать несоосность. Двигатель прикреплен к редуктору при помощи четырех стоек. Редуктор 3 через переходник соединен с гайкой винтовой пары 5. Крепление редуктора 3 к корпусу эжектора 9 осуществляется через арматуру 4 при помощи винтов. Центрирование иглы относительно камеры смешения осуществляется арматурой 7. В арматуре 7 установлена система уплотнителей 8, не позволяющая проникнуть пенному агенту в механизм подачи иглы. При продольном перемещении иглы 17 в активном сопле 16 изменяется проходное сечение активного сопла 16, обеспечивая при этом подстройку эжектора под режимные параметры, перемещение иглы 17 осуществляется механизмом подачи иглы. Механизм подачи иглы в активное сопло выполнен в виде винтовой пары 28. При повороте гайки винтовой пары 28 игла 17, опираясь на шпонку 27,

совершает продольное перемещение в активном сопле. Шпонка 27 не позволяет проворачиваться игле, продольно перемещаясь в пазе. Поворот осуществляется шаговым двигателем 32 через редуктор 30. Шаговый двигатель 32 соединен с редуктором 30 через муфту 31, позволяющую компенсировать несоосность. Двигатель прикреплен к редуктору при помощи четырех стоек. Редуктор 30 через переходник соединен с гайкой винтовой пары 28. Крепление редуктора 30 к корпусу эжектора 9 осуществляется через арматуру 29 при помощи винтов. Центрирование иглы относительно камеры смещения осуществляется корпусом активного сопла 23, в котором установлена система уплотнителей 22, не позволяющая проникнуть ПОЖ в механизм подачи иглы. Механизм регулирования размеров приемной камеры представляет собой шаговый двигатель 24, который через муфту 25 и редуктор 15 при помощи шестеренчатой пары приводит во вращение корпус активного сопла 23.

Вращение корпуса активного сопла 23 приводит к его продольному перемещению при помощи резьбы 33. Окошко 19 позволяет обеспечить беспрепятственную подачу ПОЖ в эжектор. Система уплотнителей 18 и 21 препятствует выходу ПОЖ не через сопло.

Наличие регулируемого эжектора в технологических операциях, где происходят быстроизменяющиеся процессы, например, в измерительно-управляющем комплексе автоматизированного процесса регулирования технологическими параметрами пены – гарантия стабильной работы системы.

Положительный эффект от удаления песчано-глинистых пробок во многом определяется свойствами пробки и используемой технологией. Имеющийся опыт КРС, основанный на использовании колтюбинговой установки с БДТ, бесспорно, является перспективным направлением в нефтегазовой отрасли, в частности, при ликвидации песчано-глинистых пробок, а дополнения этих технологий автоматизированным вариантом контроля и управления технологическими параметрами, несомненно, повысят надежность и безопасность этих работ.

Литература

1. А.с. 1546721 СССР, М. Кл. F 04 F 5/14. Эжектор / Северо-Кавказский научно-исследовательский институт природных газов. Авт.: К. М. Тагиров, Ю. Н. Луценко, А. А. Романовский, Г. И. Киселев (СССР). Оpubл. 07.02.92. Бюл. № 5.
2. А.с. 909349 СССР, М. Кл.3 F 04 F 5/16. Струйный аппарат / Авт.: Н. М. Григоренко, А.Т. Десятов, И. М. Морковкин, З. Н. Наркунская (СССР). Оpubл. 28.02.82. Бюл. № 8.
3. Патент № 2426916 RU, МПК F04F 5/48 Регулируемый эжектор / А-Г. Г. Керимов, А. А. Иванов, А. Ф. Керимов. Заявл. 22.12.2009 г; опубл. 20.08.2011 г. Бюл. № 23.