

Разработка устройства плавного снижения давления среды

Белова Ольга Владимировна кандидат технических наук, доцент;
Колесов Константин Андреевич, студент
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Ключевые слова: устройство ограничения расхода (inflow control device), лабиринт (labyrinth), аддитивные технологии (additive fabrication).

Введение

Отрасль нефтегазодобычи является наукоёмкой. В состав оборудования нефтепроводов входят различные насосные станции, включающие насосы и компрессоры, задвижки, устройства, способствующие нормальной работе скважины. Нормальная эксплуатация трубопровода невозможна без запорно-регулирующей арматуры — неотъемлемой части любого трубопровода. Расходы на арматуру составляют около 10 – 12 % капитальных вложений и эксплуатационных затрат. Трубопроводная арматура представляет собой устройства, предназначенные для управления потоками сред, транспортируемых по трубопроводам.

Анализ и эффективность применения горизонтальных скважин (ГС) подтверждается объемами нефтедобычи, извлекаемые с помощью горизонтальных скважин в Западной Сибири и в других регионах России, что примерно в общей сумме составляет 12 млрд. тонн [1, с. 2]. Применение горизонтальных технологий во много раз увеличивает эффективность разработки запасов. Горизонтальные скважины имеют значительную зону сбора нефти. Несмотря на то, что строительство горизонтальных скважин затратнее на 10-15%, чем вертикальных, их применение имеет такие преимущества, как:

1. Уменьшение суммарного количества скважин на месторождениях;
2. Рост уровня извлечения нефти;
3. Привлечение в разработку новые залежи нефтяных пластов, в том числе высоковязкой нефти.

Однако при разработке нефтяных месторождений горизонтальными скважинами из-за большой протяженности скважины возникают такие проблемы как:

1. Риск раннего прорыва газа из газовой шапки и подошвенной воды;
2. Ограничение по депрессии;
3. При парогравитационном методе возможность прорыва в нагнетательную скважину [2, с. 224].

Одним из решений проблемы выравнивания притока и предотвращения прорыва воды и/или газа в ГС является применение устройств пассивного (Inflow Control Device-ICD) и активного контроля (Inflow Control Valve-ICV) притока [3, с. 33]. Применение систем контроля притока позволяет нивелировать данную разницу давления в стволе и получить одинаковый профиль давления на внешней стенке скважины. В этом случае распределение давления будет одинаковым по всей длине горизонтального ствола, что приведёт к значительному увеличению дебита скважины.

Применение устройств ограничения притока помогают устранить вышеописанные проблемы и позволяют:

- Создавать одинаковый профиль давления;
- Задерживать прорыв газа/воды;
- Осуществлять более полную выработку пласта;
- Контролировать приток.

Принцип действия устройства ограничения притока заключается в создании дополнительного гидравлического сопротивления, величина которого зависит от притока на конкретном участке ствола скважины. Устройства устанавливаются один раз на все время работы скважины и не могут заменяться в процессе ее эксплуатации. Таким образом, в различных участках скважины можно установить различные сопротивления потоку из пласта в скважину. С помощью разделения скважины (Рис. 1) пакерами на сегменты стараются добиться отсутствия перетоков между пластами. Сегодня существует несколько производителей противопесочных фильтров с устройствами регулирования притока. Основные поставщики Weatherford International Ltd. (Швейцария), Schlumberger Limited (США), Baker Hughes Incorporated (США) и Halliburton (США). Есть также некоторые более мелкие компании, такие как Tendeka (США), Absolute Oil Company (Великобритания) и т.д. Среди российских производителей это компания ООО «Вормхол», ООО МТК-Групп и др.

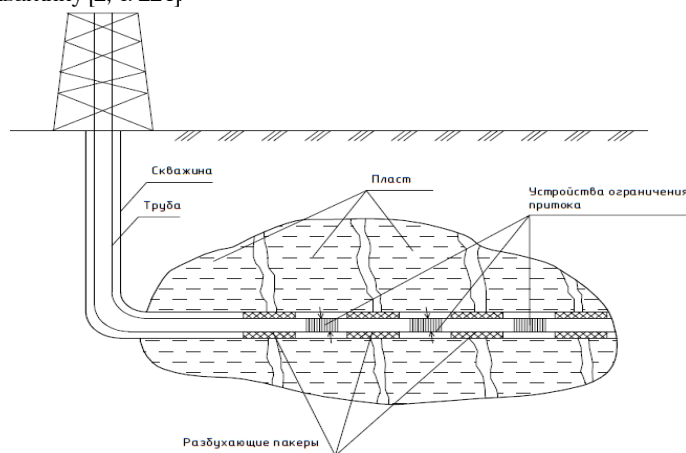


Рис.1. Горизонтальная скважина

Устройство ICV содержит регулирующий поток клапан, который чаще всего приводится в действие дистанционно (с поверхности) с помощью гидравлической, электрической или электрогидравлической систем.

С целью достижения максимальной производительности работы сверхдлинных горизонтальных скважин было предложено совместно с ICV установка ICD систем регулирования притока. Таким образом, получалась комбинированная система регулирования притока, которая известна под названием «комбинированное заканчивание». Для решения проблемы с прорывом газа и воды на протяженных горизонтальных участках предлагается спуск комбинированного заканчивания скважины, а именно установка ICV устройств регулирования профиля притока непосредственно на хвостовике и установка на добывающих трубах активных, управляемых с поверхности забойных штуцеров. При этом, естественно, в зоне установки активных штуцеров спускается хвостовик без ICD, с разбухающими на воде и нефти (гибридными) пакерами, с целью формирования зон с различной проницаемостью.

Устройство ICD является пассивным ограничителем потока, установленным на экране (внешней части трубы) для управления потоком текучей среды из пласта в скважину. В России ICD также называют АСРП – адаптивная система регулирования притока. Каждый производитель этой технологии имеет уникальный дизайн для создания перепада давления с помощью:

1. Форсунок;
2. Спиральных или лабиринтных каналов;
3. Трубных каналов;
4. Гибридных каналов.

Для скважин, с АСРП установленная скорость потока среды будет меняться на протяжении всего периода эксплуатации скважины. АСРП с высокой скоростью притока являются наиболее уязвимыми к эрозии и подвержены засорению (закупорке) из-за высокой скорости потока и малого проходного сечения. АСРП с низкой скоростью притока менее подвержены эрозии из-за более низкой скорости и увеличения площади сечения потока, что однако может вызвать оседание частиц внутри АСРП. Такие устройства служат источником дополнительных перепадов давления, которые создают равномерное распределение давления по длине скважины, а так же для предотвращения раннего прорыва воды и газа (либо за счёт трения, либо гидравлически, либо их комбинацией) по длине скважины.

Регуляторы притока типа форсунка используют сопла, чтобы создать сопротивление давлению. Жидкость, проходящая через сито, собирается в камеру, где набор предварительных сопел контролирует поток текучей среды из камеры к внутренней части гильзы. Число и диаметр сопел выбирают таким образом, чтобы получить желаемый перепад давления на устройстве с определенной скоростью потока. Сжатие потока жидкости при прохождении через сопла делает падение давления в значительной степени зависимой от плотности жидкости и скорости, но меньше зависящей от вязкости. Тем не менее, высокие скорости потока жидкости является одним из основных причин эрозии, особенно в сочетании с выносом песка.

Сопло или отверстие в регуляторе притока должно быть в 4-16 раз больше размера щелей пескозащитного фильтра.

Устройство использует ряд спиральных каналов заданной длины и диаметра, чтобы регулировать давление

при заданной скорости потока. Спиральный канал является средством создания дополнительного гидравлического сопротивления и регулирования депрессии (градиента давления между скважиной и областью вокруг нее, содержащей углеводороды). При постоянном давлении внутри несущей трубы депрессия, передаваемая на стенку открытого ствола скважины, различна и зависит от продуктивности конкретного участка скважины. Данный эффект достигается за счёт течения жидкости через спиральный канал системы. За счёт сил трения, возникающих при этом, происходит снижение скорости потока, что создает требуемый перепад давлений через конкретную секцию системы.

Дополнительное сопротивление приводит к выравниванию профиля притока в горизонтальной скважине и, несмотря на снижение продуктивности вследствие возникновения дополнительного перепада давления на устройстве, обеспечивает лучшую выработку пласта за счёт увеличения времени прорыва воды в скважину.

Использование регуляторов данного типа даёт возможность снижения эрозии или закупорки каналов.

Регуляторы притока трубного типа состоят из корпуса, содержащего трубы и часть песочного экрана. Жидкость транспортируются между экраном и базовой трубой в корпус. Поток с экрана направляется в корпус, а затем в трубу. После выхода из трубы жидкость течёт через предварительно просверленные отверстия в основной трубе в трубку. На одном регуляторе притока обычно размещают от 3 до 5 трубочек, стандартная длина которых составляет около 4 мм. При удлинении труб система становится зависимой от вязкости. Для уменьшения зависимости от вязкости, желательно применять относительно короткие трубы.

Гибридный тип регулятора притока представляет собой сочетание канала сложной формы и отверстия типа форсунки. Жидкость течёт через набор отсеков, которые связаны друг с другом малым соплом, как отверстия. Отверстия расположены в шахматном порядке, уменьшающим скорость прохода через регулятор. Давление регулируется в зависимости от открытости отсеков (Рис. 2).

Таким образом, сравнивая АСРП различного типа и их взаимодействие по созданию перепада давления с целью ограничения расхода среды, можно прийти к выводу, что наиболее равномерное падение давления происходит на АСРП лабиринтного типа. Следовательно, в дальнейшем будем рассматривать проблему повышения эффективности работы именно этих устройств.

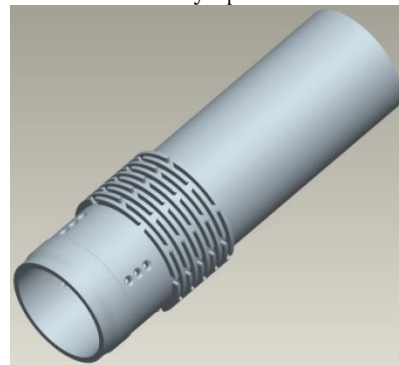


Рис.2. Конструкция АСРП лабиринтного типа

Были проведены разработка и исследование АСРП гибридного типа. Для описания математической модели задачи течения среды через АСРП гибридного типа используется система уравнений [5 с. 57, 6 с. 25], состоящая из:

- уравнения движения;
- уравнения неразрывности;
- уравнения для кинетической энергии турбулентности k ;
- уравнения для удельной скорости диссипации ω описывающей стационарное турбулентное движение несжимаемой вязкой жидкости

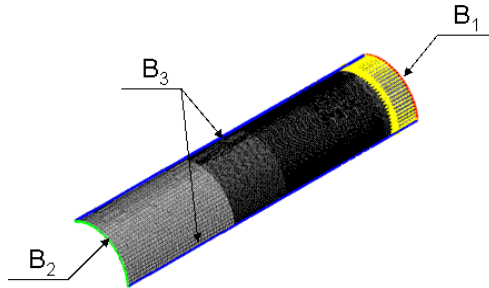


Рис. 3. Расчетная область, обозначенная границами

Приведенную выше систему уравнений необходимо дополнить граничными условиями:

на входе B_1 в расчетную область расход постоянный:

$$\int_{S_1} (\rho \vec{u}; \vec{n}) dS_1 = G_1 = const$$

на выходе B_2 из расчетной области давление постоянное:

$$p(\vec{r}) = const$$

на внешних границах B_3 (плоскость симметрии):

$$u_z = \frac{\partial u_x}{\partial n} = \frac{\partial u_y}{\partial n} = 0$$

на остальных поверхностях:

$$u_j = 0, j = x, y, z$$

Процесс моделирования поставленной задачи был осуществлён в программном комплексе STAR-CCM+ в следующей последовательности:

- построение твердотельной модели дросселя при помощи CAD систем;
- построение твердотельной модели проточной части дросселя (CAD);
- экспорт модели и создание сетки в STAR-CCM+, используя встроенный сеточный генератор свободной сетки;
- задание граничных условий;
- задание свойств жидкости и параметров расчета.

На Рис.4 показана сетка расчетной модели, созданная в STAR-CCM+. Общее количество ячеек сетки различных вариантов модели, построенные в STAR-CCM+, содержали от 1.5 до 2млн. ячеек. При построении сетки в STAR-CCM+ используется встроенный генератор свободных сеток на основе многогранных ячеек.

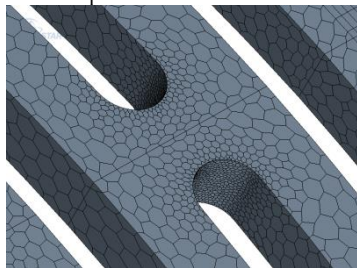


Рис.4. Сетка расчетной модели

В результате численного моделирования процесса течения воды через дроссель в расчетном комплексе STAR-CCM+ были получены зависимости перепада давления на

дросселе от расхода воды. На Рис.5 представлены характеристики дросселя.

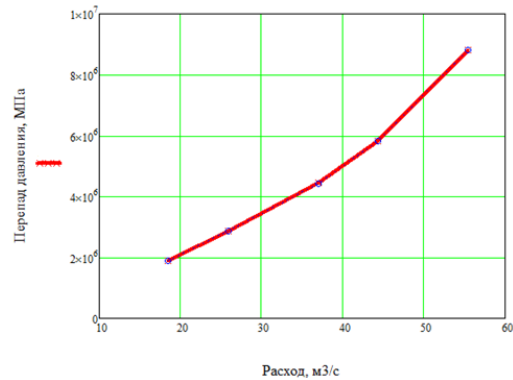


Рис.5. Зависимость перепада давления от расхода на дросселе

Возможности новых технологических приемов для изготовления устройств АСРП с разветвленными каналами.

Основная сложность при изготовлении устройств ограничения притока является создание такой геометрии каналов течения рабочей среды, которая способна создать необходимое гидравлическое сопротивление, при условии наилучшей работоспособности, в условиях возможной загрязненности рабочей среды (Рис.6). Также необходимо упростить конструкцию, уменьшая количество разборных соединений.

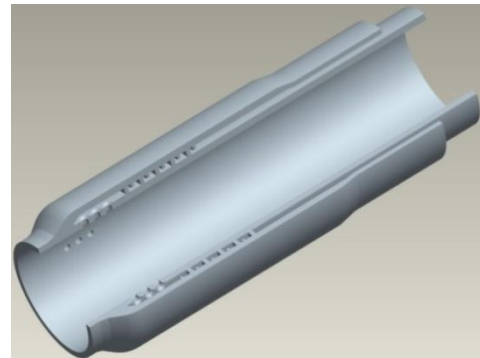


Рис.6. Целая конструкция АСРП лабиринтного типа

Данная задача может быть решена с применением аддитивных технологий. Это технология изготовления (построения) физического объекта (детали) методом послойного нанесения (добавления, англ. — «add») материала [7, с 7]. В настоящее время наиболее перспективным направлением в данной технологии является прямое изготовление с помощью печати металлическими и другими порошками. Существует возможность получить готовое изделие из различных материалов, таких как:

- Алюминий
- Сталь
- Титан
- Никель
- Вольфрам
- Драгоценные металлы и др.

Основными в этой области являются два направления: [7, с 10]

1. Спекание в объёме (bed deposition);
2. Непосредственное спекание (direct deposition).

Развитие аддитивных технологий

Сегодня рынок 3D-принтеров делится на три сегмента. Быстрее всего растет сегмент дешевых 3D-принтеров для офисов, ориентированных на изготовление концептуальных

макетов. Второй сегмент — оборудование средней стоимости для создания прототипов деталей с различной степенью точности и/или функциональности. Дешевые и средние по стоимости установки обычно работают с полимерным материалом. Третий сегмент — установки высокого класса. Они работают с полимерами, металлическими и керамическими порошками, с их помощью можно делать крупногабаритные детали. Ведущие изготовители установок — компании 3D Systems и ExOne, Stratasys, Arcam, а также SLM Solution, EOS и Voxyjet.

Особым спросом оборудование пользуется у компаний электроэнергетической, аэрокосмической, автомобилестроительной и здравоохранительной отраслей промышленности, расположенных на территории США, Западной Европы и Азии. В 2013 году на их долю пришлось 67% объема предоставляемых услуг производителями 3D систем [8, с. 4]. Области применения по рынкам готовой продукции (отраслям производства)

Применение технологии 3D-печати металлом позволит создать сложную геометрию каналов, а также упростить устройство, уменьшив количество разборных деталей.

Литература:

1. 16-ая международная выставка на тему «Оборудование технологии нефтегазового комплекса» URL: www.neftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/gorizontalnye-skvazhiny/
2. Разепина М. Г., Ташлыкыова Е. В., Черемных Д. Н. УЭЦН высокотемпературного исполнения // Молодой ученый. 2014. №6. С. 223-226.
3. Казымов Ш.П., Фариз А. Опыт и перспективы применения скважинных фильтров с устройствами регулирования притока / Socar Proceedings, Vol.2. 2015. Pp. 32-40. DOI: 10.5510/OGP20150200240.
4. Волков В.Ю., Белова О.В., Скибин А.П., Журавлев О.Н. Определение гидродинамических характеристик дроссельного устройства с лабиринтными уплотнениями с помощью вычислительной гидродинамики // Компрессорная техника и пневматика. 2013, №4. С. 1-31.
5. Белова О.В., Волков В.Ю., Зорина И.Г., Скибин А.П. Определение гидродинамических характеристик дроссельного устройства с помощью вычислительной гидродинамики // Инженерный журнал «Наука и инновации». 2012, №7. С. 1-11.
6. Зеленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М. Аддитивные технологии в машиностроении: Пособие для инженеров. М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. 209 с.
7. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники. Электронный журнал «Труды МАИ». 2014, № 78. С. 1-22.

Выводы

В настоящее время возможности создания деталей из металла с помощью аддитивных технологий ограничиваются лишь возможностями оборудования. Основная масса 3D-принтеров импортируется, однако некоторые российские компании, например, Региональный инжиниринговый центр УрФУ и ЦНИИТМАШ, активно занимаются разработкой собственных 3D-принтеров, при изготовлении которых будут использованы отечественные компоненты.

В настоящее время ведется активная работа по подготовке специалистов в области аддитивных технологий в ведущих вузах страны — МГТУ им. Баумана, СПбПУ им. Петра Великого, и др.

Целенаправленная работа ВИАМ по развитию аддитивных технологий уже принесла плоды: впервые в России по аддитивной технологии с применением отечественной металлопорошковой композиции изготовлен завихритель фронтального устройства камеры сгорания перспективного авиационного двигателя ПД-14, отвечающий всем требованиям конструкторской документации.